

# 有机肥与覆盖对苏北滩涂重度盐渍土壤水盐 调控效应分析\*

张建兵<sup>1,3</sup> 杨劲松<sup>1,2†</sup> 李芙蓉<sup>1</sup> 侯晓静<sup>1</sup> 赵曼<sup>1</sup> 姚荣江<sup>1,2</sup>  
余世鹏<sup>1,2</sup> 王相平<sup>1</sup>

(1 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)

(2 中国科学院南京分院东台滩涂研究院, 江苏东台 224200)

(3 北部湾环境演变与资源利用省部共建教育部重点实验室(广西师范学院), 南宁 530001)

## EFFECTS OF FARMYARD MANURE AND MULCHING ON SOIL WATER AND SALINITY IN SEVERE SALINIZED TIDE FLAT SOIL OF NORTH JIANGSU PROVINCE

Zhang Jianbing<sup>1,3</sup> Yang Jingsong<sup>1,2†</sup> Li Furong<sup>1</sup> Hou Xiaojing<sup>1</sup> Zhao Man<sup>1</sup> Yao Rongjiang<sup>1,2</sup>  
Yu Shipeng<sup>1,2</sup> Wang Xiangping<sup>1</sup>

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(2 Dongtai Institute of Tidal Flat, Nanjing Branch of the Chinese Academy of Sciences, Dongtai, Jiangsu 224200, China)

(3 Key Laboratory of Beibu Gulf Environment Change and Resources Use, Guanxi Teachers Education University, Nanning 530001, China)

**关键词** 有机肥与覆盖集成措施; 重度盐渍土; 水盐调控; 滩涂; 苏北

**中图分类号** S152.7 **文献标识码** A

苏北地区滩涂资源丰富, 拥有占全国 1/4 以上的滩涂面积, 是非常重要的后备土地资源, 同时, 其开发利用历史悠久, 已取得了巨大的社会效益<sup>[1-2]</sup>。但从目前研究看来, 土壤质量偏低依然是制约苏北滩涂开发利用的主要障碍因子<sup>[3]</sup>。土壤盐渍化, 尤其是重度盐渍化, 作为影响滩涂土壤质量的主要障碍因子之一, 严重抑制了土壤生产力的发挥, 导致土地生产效率普遍偏低<sup>[4]</sup>。因此, 采取适当措施对土壤水盐运移过程进行有效调控、消减盐碱障碍因子是滩涂农田地力提升、滩涂土地资源功能发挥的基础。

覆盖、有机肥作为传统的农艺调控措施, 广泛应用到盐渍土的水盐调控及土壤培肥方面。大量研究表明, 覆盖具有良好的土壤水热调控能力及抑

制土壤蒸发、盐分表聚的功能<sup>[5-6]</sup>, 从而使土壤生态过程向良性转化<sup>[7-8]</sup>。而关于有机肥的作用, 大部分研究者集中在其土壤培肥功能方面, 如有机肥的施用能快速增加土壤有机质、氮磷钾等养分含量<sup>[9-10]</sup>, 进而促进作物生长; 也有研究者报道了有机肥改善盐渍土土壤结构性质、提升土壤水动力学参数等功能, 进而影响盐渍土壤的脱盐、洗盐效果<sup>[11-14]</sup>。

虽然上述研究分别报道了覆盖、有机肥各自对土壤性质的改善功能, 但少有有机肥与覆盖集成措施对滩涂围垦农田土壤水盐动态及作物生长影响方面的报道。本研究分析了有机肥与覆盖集成措施对苏北滩涂重度盐渍土壤水盐的调控以及对作物产量的提升效应, 并将其与轻度盐渍土壤的调控

\* 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)、江苏省产学研前瞻性联合研究项目(BY2011195)和江苏省科技支撑计划项目(BE2010313)资助

† 通讯作者, E-mail: jsyang@issas.ac.cn

作者简介: 张建兵(1984—), 男, 四川邻水人, 博士研究生, 主要从事土壤盐渍化防控和盐渍土资源利用方面的研究。E-mail: zhangjb666@issas.ac.cn

收稿日期: 2013-01-17; 收到修改稿日期: 2013-04-20

效应进行对比,以期快速实现新围垦滩涂重度盐渍土的农业利用提供理论支持与实践指导。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区概况

研究区位于江苏省东台市黄海原种场南场(32°38'42.01"N,120°54'8.04"E),东距黄海 3 km,西临东台市弶港镇,试验地选取于其二期围垦地,围垦时间为 2005 年。该区地处北亚热带季风气候区,且具有明显的海洋性季风气候特征,其四季分明,年均气温 14.6 °C,相对湿度为 81%,风速

3.3 m s<sup>-1</sup>,全年无霜期达 213 d。该区常年平均降水量为 1 042 mm,小于年平均蒸发量(1 417 mm),同时,降雨量季节波动性大,雨季特征明显。

研究区土壤为潮盐土亚类,是典型的淤泥质海岸带盐渍土,土壤质地以粉砂为主,且土壤 pH 高、养分含量低。本研究对象为重度及轻度盐渍土壤<sup>[15]</sup>,其表层(0~20 cm)土壤基本性质如表 1。同时,试验地 1 m 土体全盐含量与土壤电导率之间存在着线性关系:TS = 2.47 EC<sub>1:5</sub> + 0.26 (n = 110, R<sup>2</sup> = 0.96, p < 0.000 1)。式中,TS 为土壤全盐量(g kg<sup>-1</sup>),EC<sub>1:5</sub>为土壤电导率(dS m<sup>-1</sup>)。

表 1 不同盐化程度土壤基本理化性质

盐化程度	电导率 (dS m <sup>-1</sup> )	全盐量 (g kg <sup>-1</sup> )	pH	砂粒 (%)	粉砂 (%)	黏粒 (%)	有机质 (g kg <sup>-1</sup> )	全氮 (g kg <sup>-1</sup> )	碱解氮 (mg kg <sup>-1</sup> )	有效磷 (mg kg <sup>-1</sup> )	速效钾 (mg kg <sup>-1</sup> )
轻度盐渍土	0.48	1.45	8.84	3.48	75.76	20.76	7.66	0.48	63.00	10.20	112.32
重度盐渍土	1.82	4.75	9.05	19.3	64.6	16.1	6.10	0.39	51.50	8.56	101.89

注:砂粒:2~0.02 mm;粉砂:0.02~0.002 mm;黏粒 <0.002 mm

### 1.2 试验设计与管 理

试验开始于 2011 年 11 月,分别在重度、轻度盐渍化田块中设置面积为 30 m<sup>2</sup>的试验小区,以当地常规耕作方式为对照(重度、轻度分别记为 HCK、LCK),设计了有机肥 + 薄膜覆盖集成措施(基施鸡粪堆肥 2 kg m<sup>-2</sup>,种后全小区覆盖宽 3 m,厚 0.025 mm 的白色透明薄膜,出苗后在苗处掏一直径 10 cm 左右的洞,以便作物生长、追肥操作及雨水入渗,其余操作及管理方式同对照,在重度、轻度盐渍土中分别记为 HFP、LFP)、有机肥 + 秸秆覆盖集成措施(基施鸡粪堆肥 2 kg m<sup>-2</sup>,种后全小区覆秸秆,用量为 1 kg m<sup>-2</sup>,其余操作及管理方式同对照,在重度、轻度盐渍土中分别记为 HFS、LFS),以研究其对土壤水盐调控及作物生长的促进效应。因此,试验共设处理 6 个,每个处理重复 3 次,并随机分布于试验小区内。

试验的具体实施与管理模式同当地常规操作模式,具体包括:(1)采用研究区常规旱作模式—玉麦轮作,耕地方式为机器旋耕(深度为 15 cm 左右),施用肥料均为化肥;(2)施肥分基肥与追肥,其中基肥为磷酸二铵、尿素,玉米与小麦的用量分别为 225、150 kg hm<sup>-2</sup>和 150、75 kg hm<sup>-2</sup>;追肥均为尿素,玉米分苗期、拔节期及抽穗期 3 次,用量分别为 150、150、225 kg hm<sup>-2</sup>;大麦分返青期、抽穗期 2 次,用量均为 150 kg hm<sup>-2</sup>。(3)基肥施用方式为在旋

地之前撒施,并在旋地时将其混匀于 0~15 cm 土层中;追肥为撒施。(4)种植方式玉米为开沟点播(宽窄行),种后 3 周间苗,每点保留壮苗 1 棵;大麦为穴播。其余管理措施,如除草、病虫害防治等均在需要时进行,且同当地常规管理模式。

### 1.3 样品采集与分析

在作物的不同生育期,定点采集土壤表层(0~20 cm)样品(土钻法,每小区 3 个点,并将其混合土样作为该小区的最终样品,样品采取密封保存,以防止土壤水分的损失)。土壤样品带回实验室后一部分立即装入铝盒采用恒温烘干法(105 °C,10 h)测土壤含水量,另一部分在室内自然风干,磨碎,过 2 mm 筛后制备 1:5 土水比浸提液,然后分别采用电导法和电极法测定土壤电导率和 pH,火焰光度计法测定 Na<sup>+</sup> 和 K<sup>+</sup>,土壤盐分常规分析法测定 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 和 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>,并将八大离子总量计为土壤全盐量,以分析电导率与土壤盐分之间的关系,具体操作方法详见《土壤农业化学分析方法》<sup>[16]</sup>。

玉米产量的测定方法是,在每一小区内,随机选取 3 点,收取 3 点处连续 3 株植株玉米棒子,因此,每个处理共采集了 9 个重复样品,将玉米棒子剥粒,晾晒干称重,计为产量;大麦测产方式为在同一小区内随机选取 3 个 1 m × 1 m 样方,并齐地割取样方内植株带回,将植株摊开晾晒干后脱粒,然后再

次进行晾晒(晒干程度为当地大麦籽粒晒干后能进行仓储时的程度),将其籽粒的晒干重计为产量。

#### 1.4 数据统计与分析

数据统计与分析分别采用 Excel 和 SPSS 16.0,处理间的差异分析采用方差分析法,并用 LSD 法检验其显著性。

## 2 结果与讨论

### 2.1 试验期降雨特征分析

研究区多年降水量分布规律显示,该区具有明显

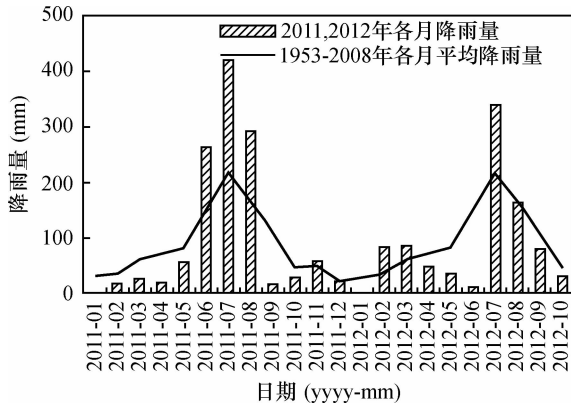


图1 试验期内各月降雨量的统计特征

的雨季特征,降雨主要集中在6—9月,雨量占年降雨量的60.72%;同时,降雨量在各年份、各月及月内的平均降雨量也相差极大。2011年降雨量较该区多年平均降雨量高164.4 mm,而2012年前10月的总降雨量较该区同期的多年平均降雨量低93.3 mm,2011年、2012年前10月降水量的差值也达到了252.3 mm,两年降雨量最高月与最低月的差值分别为418.9、336.9 mm。从2012年的主要降水月份7、8、9月来看,其降雨量表现出了强度大、时间集中的特点(图1,图2)。如此强时间变异的降雨特征对苏北滩涂土壤水盐及作物生长均产生了深刻的影响。

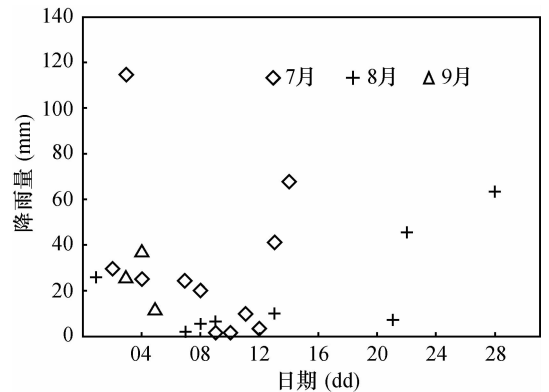


图2 2012年7月—9月每日降雨量

### 2.2 有机肥与覆盖集成措施对土壤水盐的调控效应分析

**2.2.1 土壤水分的动态变化特征** 苏北滩涂土壤表层(0~20 cm)水分随时间变化波动明显,重度、轻度盐渍化土壤含水量分别分布于21.24%~28.09%和19.22%~31.18%之间(图3)。试验期内土壤含水量大致可以分为两个阶段,一是2011年12月—2012年4月的高含水量阶段(该期轻度与重度盐渍土壤的平均含水量分别为26.45%、28.41%),二是2012年5—10月的较低阶段(该期两类型土壤的平均含水量分别为23.65%、21.55%)。这与研究区试验期内降雨量的分布特征相吻合。研究区作为典型的旱作雨养区,其土壤水分的补给主要来源于降雨及浅层地下水,而后者也直接受到了前者的控制。在雨量丰沛的时间段,雨水一方面通过补给土壤水库,直接提高土壤含水量;另一方面则通过抬升地下水位,持续补给土壤水分。2011年12月17日至2012年4月24日的高土壤含水量(25.60%~31.18%)便是2011年下半年(尤其是6—8月)强降水所致的浅地下水埋深(该期实测值1.0~1.5 m)及该期持续的降水所致。

而2012年5月至10月土壤含水量相对较低的原因则在于该期较少的降水及较深的地下水埋深(2012年10月时地下水埋深已降至3.5 m左右)。虽然2012年7—9月有较强降水,但其时间短、强度大,多以暴雨方式降落(图2),加之研究区土壤结构差,入渗率低,导致大部分雨水以地面径流方式流失,对土壤水分补给较少,表现出了较低的雨水利用率。

在相同的补给方式下,不同盐渍化程度、不同试验处理的土壤水分动态变化规律整体相似,但在数量上有所差异。不同盐渍化程度土壤含水量之间的差异体现在土壤水分较高的时期(3月28日与4月24日),轻度盐渍土土壤含水量高于重度,而在土壤水分整体偏低的时候(8—10月)则相反(图3),其原因可能与两类型土壤作物生长状况差别较大有关。轻度土壤作物生长整体上优于重度,而生长好的作物在雨水较多,土壤水分充足时能起到生物覆盖的作用,具有一定的涵养雨水、抑制蒸发的效果<sup>[17]</sup>,但在雨水较少和土壤水分较为缺乏的季节,生长旺盛的作物蒸腾作用更为强烈,耗水量更大,导致土壤含水量处于较低水平。试验处理之间的差别则主要由于其调控效应之间的差别所致,整体

而言,有机肥与覆盖集成措施在土壤含水量的保持方面效果明显,在该措施下,土壤水分在各个时期均高于对照,这一方面得益于有机肥对土壤物理结构的改善,提升了土壤的水动力学参数,如饱和含水量、毛管持水量及入渗率等<sup>[14]</sup>,另一方面也体现了覆盖良好的土壤蒸发抑制作用与保水功能,与前人研究结果一致<sup>[5]</sup>。同时,薄膜覆盖与秸秆覆盖对土壤水分的调控具有一定的差异性,表现在降雨较为充足的时期(2011年12月—2012年4月),秸秆覆盖下的土壤含水量较高,反之,在降雨量较少或有效降雨较低的情况下(2012年5月—10月),薄膜覆盖下的土壤含水量较高。这体现了秸秆覆盖

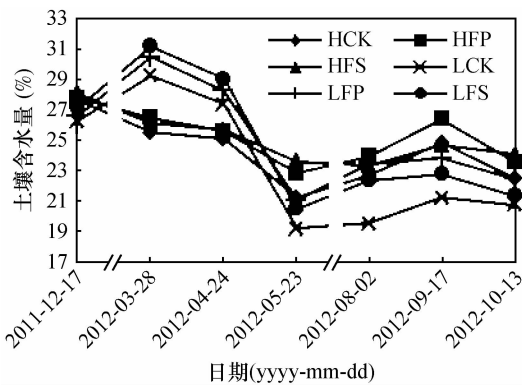


图3 滩涂农田土壤表层水分动态变化规律

利于降雨入渗、而薄膜覆盖保水效应更优的水分调控差异。

**2.2.2 土壤盐分对有机肥与覆盖集成措施调控的响应特征** 常规耕作方式下,滩涂重度、轻度盐渍化土壤盐分波动较大,试验期内,两者土壤电导率分别波动于 $2.02 \sim 2.60 \text{ dS m}^{-1}$ 和 $0.34 \sim 0.95 \text{ dS m}^{-1}$ 之间,并具有逐渐增加的趋势,表明在持续、常规旱作下,滩涂土壤盐渍化程度有加重的趋势(图4)。这对滩涂土壤盐碱障碍因子的消减、农田地力的提升产生了严重的抑制作用,因此,需要更新传统耕作模式并采取有效的土壤水盐调控措施来实现对土壤盐碱障碍的控制与消减。

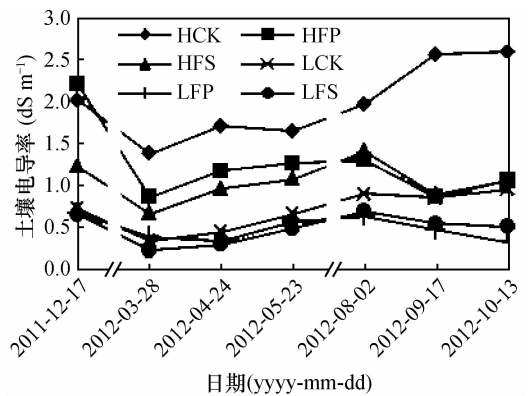


图4 滩涂农田土壤表层电导率的动态变化规律

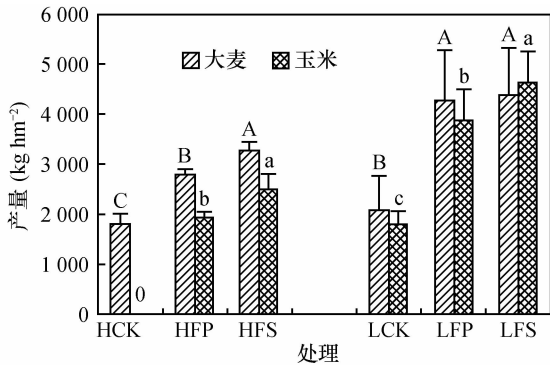
重度盐渍土壤与轻度盐渍土壤盐分随时间的变化趋势相似,并表现为如下规律:无论是在重度、还是轻度盐渍土壤中,各试验处理土壤电导率的时序变化特征在麦季(2011年12月—2012年5月)基本相似,而在玉米生育期(2012年8月—10月)分化为两个方向,一是对照组的持续上升趋势,二是在有机肥与覆盖集成措施下的稳定下降趋势。作物性状差异、试验期内的气象特征及有机肥与覆盖集成措施的调控作用是该现象出现的三个主要原因。在麦季,大麦的叶面积指数大,对土壤表层的覆盖作用明显,各处理土壤电导率变化趋势一致,且整体处于偏小状态;在玉米季,玉米种植方式及其性状特征导致土表相对空旷,对土壤蒸发及盐分表聚的抑制作用较弱,导致对照组土壤水分含量较低,电导率升高;同时,研究区2012年时间短、强度大的降雨特点对土壤盐分的淋洗作用较弱,加上8—10月的高温、强蒸发天气,导致了对照组表层土壤电导率有增无减;而有机肥与覆盖集成措施平衡土壤温度、抑制土壤蒸发、改善土壤结构性质、提高雨水利用率的特点,增加了土壤的脱盐效率,并有

效抑制了盐分的上移过程,使土壤电导率处于下降趋势。有机肥+薄膜覆盖、有机肥+秸秆覆盖在土壤水分调控方面的差异也反映到了对土壤盐分的抑制效果上,即雨水充足期,秸秆覆盖下的土壤电导率较低,而在有效雨水较少的时候,薄膜覆盖通过更好的土壤蒸发抑制功能使其电导率低于秸秆覆盖。通过分析重度、轻度盐渍化土壤大麦和玉米收后(5月23日、10月13日)的土壤电导率可知,有机肥+薄膜覆盖、有机肥+秸秆覆盖对重度盐渍土壤电导率的抑制率(与对照相比,调控措施下的土壤电导率降低比例)分别为23.22%、34.80%与59.23%、59.40%;而对轻度盐渍土壤电导率的抑制率分别为14.53%、27.37%和65.58%、46.35%,对土壤盐分障碍因子的消减起着积极作用。

### 2.3 有机肥与覆盖集成措施对作物产量的促进效应分析

有机肥与覆盖集成措施对作物生长具有积极的促进作用,与对照相比,其大麦与玉米的产量增加显著(图5)。在重度盐渍土壤情况下,有机肥与薄膜覆盖、有机肥与秸秆覆盖集成措施对大麦的增

产率分别为 55.95%、82.62%；且在对照玉米绝产的情况下，将玉米产量分别提升至 1.917、2.484 kg hm<sup>-2</sup>，均超过了轻度盐渍土壤对照组的产量，表现出了极大促进效应。在轻度盐渍土壤中，FP、FS 对大麦、玉米的增产率分别为 104.7%、110.2% 和 116.5%、158.5%，其产量水平接近于研究区围垦时间长的脱盐土同期的平均产量。有机肥良好的养分供给与土壤性质改善功能以及覆盖良好的水热调控、抑制盐分表聚的作用为作物生长提供了一个水分较高、盐分较低、土壤通透性良好及养分充足的环境<sup>[5,11]</sup>，从而显著促进了作物的生长，增加了作物产量。此外，上述结果还表明了有机肥与秸秆覆盖集成措施对作物的促进效应大于有机肥与薄膜覆盖集成措施，这与秸秆覆盖调控措施更利于雨水入渗及养分利用效率的提高有关。



注：同一盐渍化程度土壤中不同大小写字母分别表示不同调控措施下大麦产量与玉米产量的差异性达显著水平 ( $p < 0.05$ )

图 5 不同试验处理下的作物产量

### 3 结 论

有机肥与覆盖集成措施对苏北滩涂重度盐渍化土壤具有良好水盐调控效应及作物生长促进作用。表现在：(1) 调控措施下的土壤水分处于较高水平，体现出了良好的水分保持效率；(2) 土壤盐分抑制效率高，在该措施的调控下，土壤盐化程度从重度降至中度；(3) 作物生长促进作用显著，尤其是有机肥与秸秆覆盖集成措施。有机肥与覆盖良好的土壤水盐调控功能为作物提供了一个土壤水分较高、盐分较低的生长环境，同时通过其良好的土壤性质改善、养分供给能力显著地促进作物生长，使其具有较高产量。

鉴于有机肥与秸秆覆盖集成措施良好的水盐调控及作物生长促进能力，综合薄膜白色污染、材料成本及研究区秸秆焚烧等资源环境问题，本研究认为，有机肥与秸秆覆盖集成措施为苏北滩涂重度

盐碱障碍耕地快速利用的较优处理。该措施不仅能实现盐渍土壤生态系统向良性转化，加快滩涂土地的利用进程，也能实现有机肥及作物秸秆的可持续利用，避免当地持续旱作所引起的次生盐渍化及秸秆焚烧所带来的环境问题。因此，本研究认为，有机肥与秸秆覆盖集成措施在苏北滩涂围垦区有较大的推广应用潜力。当然，本研究时间仅 1 年，周期较短，需要对该措施的长期效应进行研究。

### 参 考 文 献

- [1] 王资生, 阮成江, 郑怀平. 盐城滩涂资源特征及可持续利用对策. 海洋通报, 2001, 20(4): 64—69
- [2] 陈洪全. 苏北沿海港口开发与可持续发展研究. 海洋科学, 2000, 24(1): 52—54
- [3] 姚荣江, 杨劲松, 陈小兵, 等. 苏北滩涂围垦区土壤质量模糊综合评价. 中国农业科学, 2009, 42(6): 2019—2027
- [4] 赵秀芳, 杨劲松, 姚荣江. 基于典范对应分析的苏北滩涂土壤春季盐渍化特征研究. 土壤学报, 2010, 47(3): 422—428
- [5] 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. 土壤通报, 1999, 30(6): 257—258
- [6] Pang H C, Li Y Y, Yang J S, et al. Effect of brackish water irrigation and straw mulching on soil salinity and crop yields under monsoonal climatic conditions. Agricultural Water Management, 2010, 97(12): 1971—1977
- [7] 毕远杰, 王全九, 雪静. 覆盖及水质对土壤水盐状况及油菜产量的影响. 农业工程学报, 2010, 26(增 1): 83—89
- [8] 王婧, 逢焕成, 任天志, 等. 地膜覆盖与秸秆深埋对河套灌区盐渍土水盐运动的影响. 农业工程学报, 2012, 28(15): 52—59
- [9] Schlegel A J. Effect of composted manure on soil chemical properties and nitrogen use by grain-sorghum. Journal of Production Agriculture, 1992, 5(1): 153—157
- [10] Egashira, K, Han J L, Karim A J M S, et al. Evaluation of long-term application of organic residues on accumulation of organic matter and improvement of soil chemical properties in a clay terrace soil of Bangladesh. Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University, 2003, 48(1/2): 227—236
- [11] 张锐, 严慧峻, 魏由庆, 等. 有机肥在改良盐渍土中的作用. 土壤肥料, 1997(4): 11—14
- [12] 王涌清, 孙昭荣. 盐土及盐化潮土中的微团聚体及有机质在各组微团聚体中的分布. 土壤肥料, 1983(4): 10—13
- [13] 马成泽. 有机质含量对土壤几项物理性质的影响. 土壤通报, 1994, 25(2): 65—67
- [14] 单秀枝, 魏由庆, 严慧峻, 等. 土壤有机质含量对土壤水动力学参数的影响. 土壤学报, 1998, 35(1): 1—9
- [15] 王遵亲, 祝寿泉, 俞仁培, 等. 中国盐渍土. 北京: 科学出版社, 1993
- [16] 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: 90—99
- [17] 张振华, 严少华, 胡永红. 覆盖对滨海盐化土水盐运动和大麦产量影响的研究. 土壤通报, 1996, 27(3): 136—138

(责任编辑: 卢 萍)