

秸秆和植被覆盖对滩涂围垦区土壤盐分和肥力性质的影响

张 蛟*, 崔士友

(江苏沿江地区农业科学研究所, 江苏 南通 226541)

摘 要: 为探明不同地面覆盖对滩涂围垦区土壤盐分变化和肥力性质的影响, 于2014年5月~2015年5月, 在江苏如东东凌垦区开展了秸秆和植被覆盖的田间试验, 设置对照 (CK, 裸地)、15 t/hm² 秸秆覆盖 (SM)、植被覆盖 (PC, 田菁-野生芥菜种植) 和植被覆盖结合 7.5 t/hm² 秸秆覆盖 (PC+1/2SM) 4种试验处理。结果表明: (1) 与CK处理相比, 覆盖处理半年后 (12月), SM处理0~40 cm土壤含盐量下降了91.0%以上 ($P<0.05$), 而PC和PC+1/2SM处理0~40 cm没有明显的降盐效果 ($P>0.05$); SM、PC和PC+1/2SM处理1年后滩涂围垦区0~100 cm各土层土壤含盐量均有明显下降, SM、PC和PC+1/2SM处理0~40和40~100 cm土壤含盐量分别下降了97.0%和83.0%以上, 40.0%和30.0%以上, 54.0%和33.0%以上; (2) SM和PC+1/2SM处理0~100 cm土壤pH值均显著高于CK和PC处理 ($P<0.05$), 而CK与PC处理间pH变化没有明显差异; (3) PC和PC+1/2SM处理显著增加了表层 (0~20 cm) 土壤有机碳、全氮、碱解氮含量及孔隙度, 显著降低了表层土壤容重 ($P<0.05$), 但SM处理对土壤容重、有机碳、全氮、碱解氮、有效磷等均没有明显的影响。因此, 相比PC和PC+1/2SM处理, 虽然15 t/hm² 秸秆覆盖措施对滩涂围垦区土壤降盐效果更为明显, 但综合考虑土壤培肥和降盐效果, 种植耐盐植被结合适量秸秆覆盖 (如15 t/hm² 秸秆覆盖) 是滩涂围垦区降盐改土的重要措施之一。

关键词: 秸秆覆盖; 植被覆盖; 滩涂围垦; 盐分变化; 土壤肥力

中图分类号: S156.4

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257 (2018) 03-0128-08

土壤盐渍化是当今面临的最紧迫的生态环境问题之一, 也是全球农业生产力低下的主要环境限制因子之一^[1-3]。据统计, 全世界受盐渍化影响的土地面积已达 9.50×10^8 hm², 大约占到农田面积的20%和耕地面积的50%, 而且还有连年增加的趋势^[4-5]。同时, 全球约40%受重度盐渍化影响的滩涂湿地未来将被围垦并作为农业生产进行利用^[6]。在我国, 滩涂湿地围垦开发已经成为滨海地区获得土地资源的重要手段, 为促进土地动态平衡和经济发展起到重要作用, 近50年内中国滩涂围垦总面积在 $(1.1 \sim 1.2) \times 10^4$ km² 间, 成为年滨海围垦力度最大的国家^[7-8]。同时, 滨海滩涂土壤作为重要的后备资源, 具有高盐碱、低养分、高矿化度地下水和地表淡水资源缺乏等特点^[9]。随着中国面临的粮食短缺和土地资源不足的压力逐渐加

大, 将持续很长一段时间, 因此, 如何合理地开发和利用后备土地资源, 采用科学的农业生产模式具有极其重要的意义。

地面覆盖, 包括秸秆覆盖、生草覆盖、有机肥覆盖、盐生或耐盐植物直接种植覆盖以及两种或多种覆盖措施结合的方法, 对盐渍土的盐分调控及改良具有明显的作用^[10-14]。大量研究表明, 秸秆覆盖可以增加土壤表面覆盖面积, 覆盖物可以充当水汽蒸发的屏障, 减少水分蒸发量和地表径流, 同时增加水分的渗透作用, 进而降低土壤耕层的盐分累积及影响盐渍土脱盐效果^[13,15]; 通过种植耐盐或盐生植物, 可以改变土壤结构、土壤养分以及土壤微生物群落特征, 进而影响盐分的运动特征来改良盐碱土^[7,12,16]。虽然秸秆或植被覆盖对盐渍土盐分变化及改良效果有不少报道^[12,15], 但对未进行农田开发利用的土壤中的研究还不多见。同时, 种植植被改良盐碱地的研究主要关注的是单季植物生长的改良效果^[14], 而种植耐盐作物轮作全年覆盖对盐土改良效果的报道尚少, 因此, 在沿海滩涂新围垦地区中重度盐分盐碱地进行秸秆和耐盐植被轮作全年覆盖对土壤盐分和肥力性质的影响研究具有重要的

收稿日期: 2017-08-09; 最后修订日期: 2017-11-26

基金项目: 江苏省自主创新资金探索性项目 [CX (14) 5096]; 南通市科技项目-应用基础研究 (MS12016047)。

作者简介: 张蛟 (1987-), 男, 陕西渭南人, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为滩涂土壤改良与开发利用。E-mail: zhangjiao0609@126.com。同时为通讯作者。

生产实际意义。

江苏地区滩涂资源丰富, 约占全国滩涂总面积的 1/4, 约为 65.3 万 hm^2 , 其围垦利用历史悠久^[17]。本研究拟以江苏沿海滩涂荒地土壤 (盐分约 5~9 g/kg) 作为研究对象, 利用野外定位试验, 研究裸地、秸秆覆盖、植被覆盖 (田菁和野生芥菜轮作模式) 及植被覆盖结合秸秆覆盖处理下的滩涂土壤剖面的盐分变化, 探讨秸秆和植被覆盖对肥力特性和土壤物理结构的影响, 将为如何合理地开发和利用后备土地资源, 进行江苏滩涂围垦区土壤退盐与改土技术提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验区位于江苏如东县东凌垦区 ($32^{\circ}20'33''\text{N}$, $121^{\circ}25'7''\text{E}$)。该试验区为 2007 年新围垦潮上带, 属暖温带南部边缘, 气候四季分明, 冬季寒冷少雨, 夏季炎热多雨。降水充沛, 年均水量 1 042 mm, 降水相对集中, 汛期 6~8 月。年平均气温 15.1 $^{\circ}\text{C}$, 全年无霜期 225 d, 年平均日照 2 136 h。地下水位约为 1.2~1.5 m, 土质为中壤土, 土壤类型为滨海盐土, 盐分离子组成主要以 Na^+ 、 K^+ 、 SO_4^{2-} 和 Cl^- 为主。试验进行期间降水量和月平均温度如图 1 所示。2014 年 4 月, 通过调查选择典型滩涂荒地作为试验样地, 对样地土壤进行取样并测定基本理化性质。具体测定结果如下: $\text{pH}_{1:5}$ 为 8.7, 含盐量为 5.81 g/kg , 有机质和全氮含量分别为 5.81 和 0.50 g/kg , 碱解氮、有效磷和速效钾含量分别为 31.02、9.66 和 207.0 mg/kg , Na^+ 、 K^+ 、 SO_4^{2-} 和 Cl^- 含量分别为 4.00、1.78、0.399 和 0.429 g/kg , 容重为 1.38 g/cm^3 , 孔隙度为 48.97%。试验样地初始生长着少量杂草、野生田菁、野油菜、芦苇、碱蓬等耐盐或盐生植物。

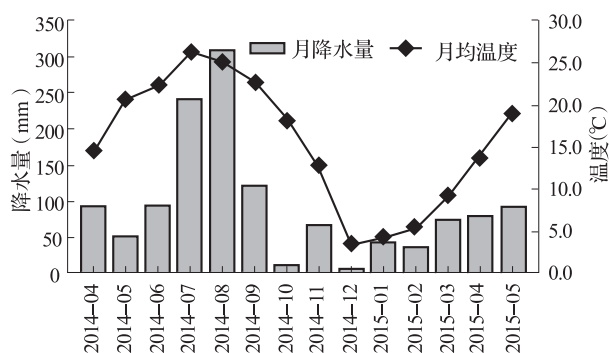


图 1 试验期间如东地区的月降水量和月平均温度变化

1.2 试验设计与采样

2014 年 4 月, 在江苏如东东凌垦区内选择地形平整, 杂草作物、盐分含量基本一致的区域作为试验样地, 进行野外试验布置。试验共设 4 个处理: (1) 对照 (裸地, CK); (2) 秸秆覆盖 (覆盖量为 15 t/hm^2 , SM); (3) 植被覆盖 (田菁-野生芥菜, PC); (4) 植被+秸秆覆盖 (田菁-野生芥菜+覆盖量为 7.5 t/hm^2 , PC+1/2SM)。试验小区面积为 50 m^2 (5 m $\times$ 10 m), 4 次重复, 采用随机区组设计。为利于排水, 每相邻两个小区之间进行挖沟隔开, 沟宽大约为 30 cm, 沟深约为 45 cm。同时, 在 5 月 1 日到 3 日期间, 进行秸秆覆盖和田菁播种处理。田菁种植为条播, 行距 50 cm, 播种量 75 kg/hm^2 , 待田菁苗生长到 10~15 cm 高, 间苗保证株距 20~25 cm 左右, 滩涂田菁最高可生长到 1.70~1.80 m, 10 月底用镰刀去除田菁地上部分。野生芥菜于 10 月下旬在田菁行间进行移栽 (行距 50 cm, 株距 20 cm, 由于受到盐分障碍, 成活率仅为 40%~50%)。其中, 田菁是豆科牧草类一年生草本植物, 常被用作新垦盐碱荒地的改良先锋植物, 其耐盐能力在 6 g/kg 左右, 耐盐极限为 10 g/kg 左右^[18-19]; 野生芥菜 (*Brassica juncea* L.) 为滩涂野生的耐盐作物, 本项目组实地鉴定发现, 其耐盐能力可达到 5~6 g/kg 以上。同时, 野生芥菜具有叶大、覆盖面积大, 可以很好地充当水汽蒸发的屏障。通过田菁-野生芥菜轮作, 基本可保证全年土壤处于植被状态。试验期间不进行人为灌溉、施肥和机械耕作, 为避免扰动土壤, 用小刀或镰刀去除地面少量杂草, 保持对照试验小区地表裸露。本试验采样安排在田菁收获后 (12 月初) 和野生芥菜成熟期前 (4 月初), 进行 2 次土壤剖面采样, 分为 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80 和 80~100 cm 土层采样, 同时测定土壤水分、pH 值和电导率。另外, 试验处理 1 年后 (4 月 16 日), 进行土壤耕层 0~20 和 20~40 cm 采样, 测定基本土壤有机碳、全氮、有效磷、速效钾及碱解氮、土壤容重等理化性质。

1.3 土壤测定与方法

土壤容重采用环刀法; pH 采用 pH 计法 (土水比 1:5); 含盐量采用电导率法 (土水比 1:5); 土壤含水量采用烘干法; 土壤颗粒组成 (过 2 mm 筛土样) 采用比重计法; 有机碳采用重铬酸钾外加热法; 全氮采用凯氏消煮法; 有效磷采用碳酸氢钠浸

提-钼蓝比色法;碱解氮采用碱解扩散法;速效钾采用乙酸铵浸提-火焰光度法。上述测定方法均参照土壤农业化学分析方法^[20]。

1.4 数据分析

本文中所有土壤指标数据均为4次重复的平均值。利用Excel 2003和DPS 7.5软件进行数据分析与作图,采取随机区组单因素方差分析(One-way ANOVA),采用LSD法进行多重比较($P < 0.05$)。根据研究前期对试验地不同盐分梯度的36组土壤样品,通过残渣法和电导法分别对盐分含量和 $EC_{1:5}$ 测定,并建立盐分含量和 $EC_{1:5}$ 之间关系的拟合方程如下: $Y = 0.174X^2 + 2.959X - 0.110$, $R^2 = 0.9927$,本研究中盐分含量均根据以上方程计算得出。

2 结果与分析

2.1 秸秆和植被覆盖处理对滩涂土壤1 m剖面盐分含量变化的影响

由表1和图2可见,2014年12月,与CK处理相比,SM处理下,0~10、10~20、20~40、40~60、60~80和80~100 cm土层盐分均有显著降低($P < 0.05$),各层盐分分别下降了95.88%、96.33%、91.57%、76.32%、52.45%和27.31%;

而PC和PC+1/2SM处理下,0~40 cm土层盐分没有明显的变化,40~100 cm土层盐分有显著下降趋势($P < 0.05$),且PC和PC+1/2SM处理之间0~100 cm土层盐分没有明显的差异性。2015年4月,与CK处理相比,SM、PC和PC+1/2SM处理,0~100 cm土层盐分均显著降低($P < 0.05$),且SM处理各层盐分分别下降了98.67%、98.81%、97.34%、94.42%、87.39%和83.61%,PC处理各层盐分下降了53.25%、54.56%、39.95%、35.32%、27.52%和31.39%,PC+1/2SM处理各层盐分下降了82.40%、81.11%、54.46%、34.10%、33.60%和35.83%;同时,0~40 cm土层盐分,PC+1/2SM处理相比PC处理具有明显的下降趋势($P < 0.05$),而40~60 cm土层盐分两种处理间没有明显变化。

不同土层深度之间,无论是12月还是翌年4月,4种不同处理均表现为0~40 cm土层盐分显著低于40~100 cm土层盐分($P < 0.05$)。另外,与12月相比,翌年4月,SM处理0~100 cm土层盐分明显下降,特别是60~100 cm土层盐分下降更为明显($P < 0.01$);PC和PC+1/2SM处理0~100 cm土层盐分也均有明显下降,但PC+1/2SM处理0~40 cm土层盐分含量下降更为显著($P < 0.01$)。

表1 秸秆和植被覆盖措施对滩涂1 m深度土壤剖面盐分含量的影响 (g/kg)

采样时间 (年-月-日)	土层深度 (cm)	CK	SM	PC	PC+1/2SM
2014-12-01	0~10	6.55 ± 1.77cA	0.27 ± 0.09dB	5.86 ± 1.04eA	6.15 ± 0.70dA
	10~20	7.90 ± 1.99cA	0.29 ± 0.04dB	6.89 ± 1.52dA	6.93 ± 0.84dA
	20~40	9.73 ± 2.67bA	0.82 ± 0.43dB	8.05 ± 1.27cA	7.85 ± 0.81cA
	40~60	11.91 ± 1.80aA	2.82 ± 1.42cC	9.02 ± 0.88bB	5.33 ± 1.01bB
	60~80	13.46 ± 0.73aA	6.40 ± 1.99bC	9.73 ± 0.45abB	9.47 ± 0.79abB
	80~100	13.33 ± 0.83aA	9.69 ± 1.76aB	10.41 ± 0.91aB	10.05 ± 0.47aB
2015-04-01	0~10	6.76 ± 0.99dA	0.09 ± 0.03cD	3.16 ± 0.39eB	1.19 ± 0.40dC
	10~20	7.57 ± 1.12cdA	0.09 ± 0.04cD	3.44 ± 0.69eB	1.43 ± 0.54dC
	20~40	7.51 ± 1.18cdA	0.24 ± 0.07cD	4.51 ± 0.57dB	3.27 ± 0.87cC
	40~60	8.24 ± 1.19bcA	0.46 ± 0.29cC	5.33 ± 0.74cB	5.43 ± 0.74bB
	60~80	8.72 ± 1.01bA	1.10 ± 0.65bC	6.32 ± 0.65bB	5.79 ± 0.37bB
	80~100	10.13 ± 1.37aA	1.66 ± 0.69aC	6.95 ± 0.46aB	6.50 ± 0.40aB

注:同列数据不同小写字母代表同一处理不同土层间差异显著($P < 0.05$);同行数据不同大写字母代表同一土层深度不同处理间差异显著($P < 0.05$),下同。

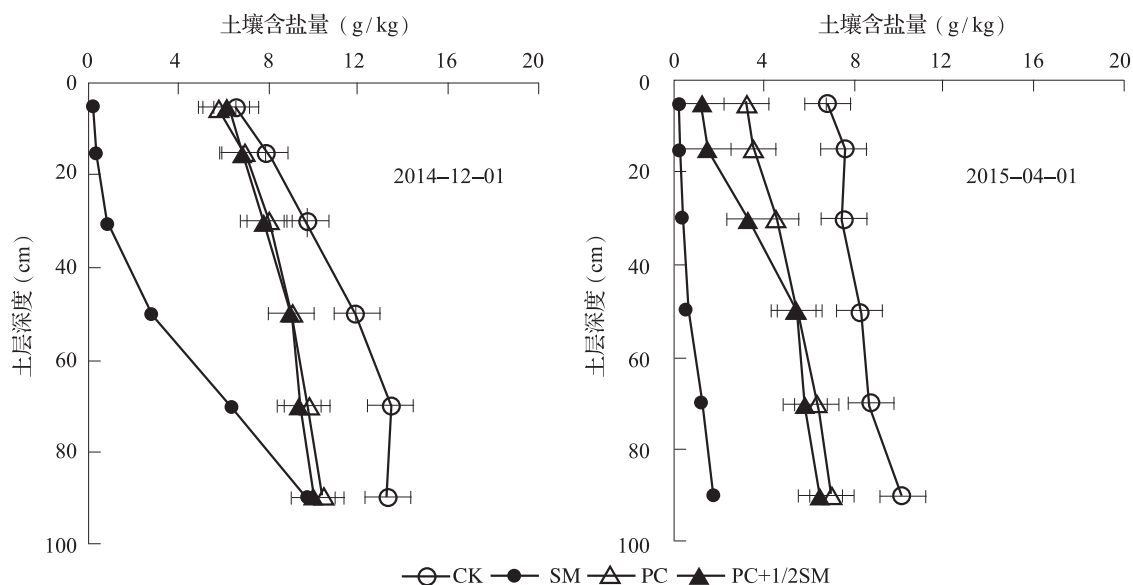


图2 秸秆和植被覆盖措施对不同采样时期土壤1 m剖面盐分含量的影响

2.2 秸秆和植被覆盖处理对滩涂土壤1 m剖面pH值和水分含量变化的影响

由图3可见,无论是12月还是翌年4月,0~100 cm土壤pH值均表现为SM和PC+1/2SM处理高于CK和PC处理,而CK和PC处理间0~100 cm土壤pH值均没有显著差异。不同土层深度之间,CK和PC处理下,无论是12月(除CK 0~10 cm深度)还是翌年4月土壤各层pH值均没有显著差异($P>0.05$); SM处理下,12月表现为0~60 cm土层pH值低于80~100 cm土层($P<0.05$),翌年4月表现为0~40 cm

土层pH值低于40~100 cm土层($P<0.05$); PC+1/2SM处理,12月表现为0~40 cm土层pH值低于40~100 cm土层($P<0.05$),翌年4月土壤pH值表现为0~40 cm高于40~100 cm土层($P<0.05$)。

由图4所见,无论是12月还是翌年4月,0~100 cm土层水分含量4种处理间均没有明显的差异性($P>0.05$)。不同土层深度之间,12月不同处理基本表现为0~40 cm土壤水分高于40~100 cm土层,4月不同处理基本表现为0~40 cm土壤水分低于40~100 cm土层。

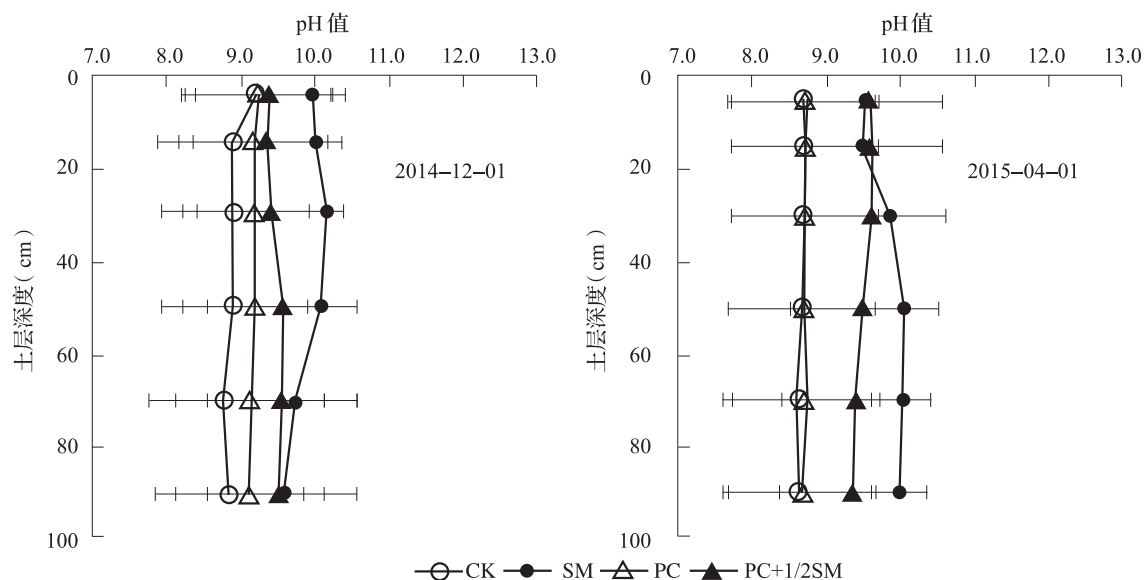


图3 秸秆和植被覆盖措施对不同采样时期土壤1 m剖面pH值的影响

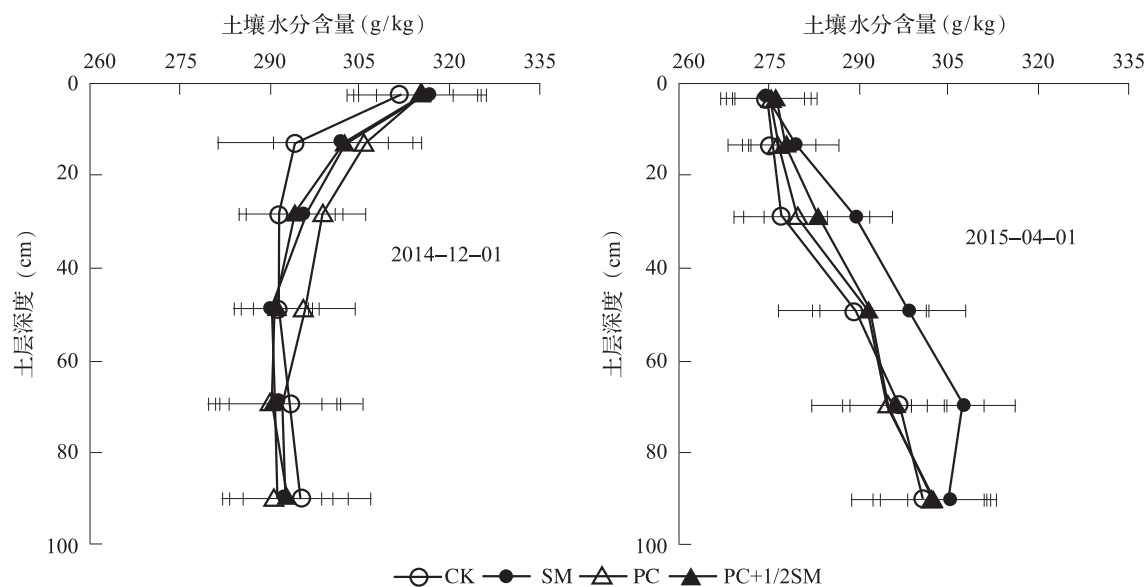


图4 秸秆和植被覆盖措施对不同采样时期土壤1 m剖面水分含量的影响

2.3 秸秆和植被覆盖处理对滩涂土壤养分和物理性质的影响

2015年4月16日(处理1年后),对各试验处理小区土壤耕层(0~40 cm)采样进行理化测定分析,结果如表2和表3所示。由表2可知,与CK处理相比,PC和PC+1/2SM处理均显著增加了表层土壤(0~20 cm)的有机碳、总氮和碱解氮含量($P < 0.05$),分别增加了14.08%和11.85%、20.41%和18.75%及3.40%和5.96%;而SM处理对表层土壤有机碳、全氮、碳氮比、碱解氮、有效

磷和速效钾含量均没有显著的影响($P > 0.05$)。由表3可知,与不种植植被处理(CK和SM)相比,种植植被处理(包括PC和PC+1/2SM)显著降低了表层土壤容重($P < 0.05$),增加了表层土壤的孔隙度($P < 0.05$);SM、PC和PC+1/2SM处理对表层土壤砂粒、粉粒和粘粒含量均无显著的影响($P > 0.05$)。此外,由表2和表3可知,无论是秸秆覆盖还是植被覆盖处理对土壤亚表层(20~40 cm)养分含量和物理结构性质均没有明显的影响($P > 0.05$)。

表2 秸秆和植被覆盖对滩涂耕层土壤养分性质的影响

耕层 (cm)	处理	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	有机碳 (g/kg)	总氮 (g/kg)	C/N
0~20	CK	29.84 ± 2.56b	9.84 ± 0.77a	212.50 ± 14.82a	3.05 ± 0.15b	0.39 ± 0.06b	8.03 ± 1.17a
	SM	29.19 ± 2.19b	9.95 ± 0.37a	207.75 ± 16.46a	2.98 ± 0.14b	0.41 ± 0.03ab	7.37 ± 0.72a
	PC	30.89 ± 2.57a	10.18 ± 0.70a	209.00 ± 18.74a	3.55 ± 0.35a	0.49 ± 0.03a	7.30 ± 0.51a
	PC+1/2SM	31.73 ± 2.11a	10.06 ± 0.63a	210.17 ± 12.47a	3.46 ± 0.22a	0.48 ± 0.04a	7.23 ± 0.95a
20~40	CK	18.69 ± 1.00a	8.19 ± 0.85a	215.50 ± 16.50a	2.46 ± 0.15a	0.29 ± 0.03a	8.59 ± 1.35a
	SM	19.45 ± 1.58a	8.01 ± 0.62a	216.75 ± 16.24a	2.40 ± 0.12a	0.28 ± 0.03a	8.51 ± 1.10a
	PC	20.57 ± 2.14a	7.89 ± 0.54a	211.75 ± 24.78a	2.73 ± 0.40a	0.32 ± 0.04a	8.60 ± 0.94a
	PC+1/2SM	19.88 ± 1.51a	7.97 ± 0.38a	218.58 ± 22.21a	2.65 ± 0.41a	0.30 ± 0.03a	8.86 ± 1.03a

表 3 秸秆和植被覆盖对滩涂耕层土壤物理性质的影响

耕层 (cm)	处理	容重 (g/cm ³)	孔隙度 (%)	土壤颗粒组成 (%)		
				砂粒	粉粒	粘粒
0 ~ 20	CK	1.37 ± 0.03a	48.15 ± 1.32b	20.53 ± 0.96a	58.25 ± 1.26a	21.22 ± 0.58a
	SM	1.38 ± 0.02a	48.07 ± 0.94b	19.78 ± 1.91a	58.75 ± 1.50a	21.47 ± 0.96a
	PC	1.33 ± 0.02b	49.69 ± 0.66a	19.53 ± 3.50a	59.25 ± 2.22a	21.22 ± 1.29a
	PC + 1/2SM	1.34 ± 0.02b	49.54 ± 0.83a	20.03 ± 2.22a	58.50 ± 1.73a	21.47 ± 0.96a
20 ~ 40	CK	1.44 ± 0.05a	45.76 ± 1.85a	18.28 ± 2.94a	59.50 ± 3.00a	22.22 ± 0.58a
	SM	1.42 ± 0.03a	46.54 ± 1.25a	19.53 ± 3.86a	59.25 ± 3.86a	21.72 ± 0.82a
	PC	1.43 ± 0.06a	45.93 ± 2.37a	20.28 ± 3.83a	57.75 ± 3.40a	21.97 ± 0.50a
	PC + 1/2SM	1.43 ± 0.04a	45.97 ± 1.56a	20.53 ± 4.11a	57.75 ± 3.30a	21.72 ± 0.82a

3 讨论

3.1 秸秆和植被覆盖对滩涂围垦区土壤盐分变化的影响

在滨海盐碱土中，采取人为地面覆盖可以改变土壤盐分的变化规律，增加土壤淋盐洗盐作用，达到降盐及控盐的作用，进而保证农作物安全生长^[15,21-22]。本试验研究中，田菁收获后（12月），与裸地相比，15 t/hm² 秸秆覆盖显著地降低了 0 ~ 100 cm 土层盐分含量，特别是耕层土壤盐分降低了 91.0% 以上（ $P < 0.05$ ）；然而，种植田菁和田菁结合 7.5 t/hm² 秸秆覆盖处理 0 ~ 100 cm 土层盐分有一定的下降趋势，但 0 ~ 40 cm 土层盐分与裸地没有达到显著差异；野生芥菜收获前（4月），种植野生芥菜和野生芥菜结合 7.5 t/hm² 秸秆覆盖下，0 ~ 40 和 60 ~ 100 cm 土层盐分分别下降了 40.0% 和 30.0% 以上，54.0% 和 33.0% 以上（ $P < 0.05$ ）；而 15 t/hm² 秸秆覆盖 0 ~ 100 cm 土层盐分进一步下降，特别是 60 ~ 100 cm 土层盐分均比对照下降了 83% 以上。引起这些结果差异的原因可能是：（1）滩涂新围垦未经农业开发利用的盐碱地，6 ~ 8 月雨季降水集中，处于强烈的脱盐期^[21,23]，大量秸秆覆盖（15 t/hm²）起到增加土壤淋洗作用和脱盐作用^[15,24]；而 9 ~ 10 月，江苏沿海滩涂降水较少，在高蒸发力的作用下，伴随着雨季储存在土壤中的水分快速蒸发，土壤中盐分会在表层聚积^[23,25-26]，大量秸秆覆盖比植被覆盖处理可以更好地充当水汽蒸发的屏障，减少水分蒸发力，进而起到缓解耕层盐分累积和调控盐分的作用^[15,24]；然而，9 ~ 10 月田菁生长处于成熟期，叶片开始凋落，覆盖起到的屏障效果减弱，相比大量秸秆覆盖而言，种植田菁

和田菁结合 7.5 t/hm² 秸秆覆盖处理下土壤盐分会出现一定的表聚现象^[23]，因此，12 月 0 ~ 40 cm 土壤盐分在大量秸秆覆盖下显著降低，种植田菁和田菁结合半量秸秆覆盖有一定程度降低，但没有达到显著水平；（2）随着野生芥菜的不 断生长，加之其具有叶大、覆盖面积大的特点，不仅可以很好地起到水汽屏障作用，缓解并控制盐分上升，下雨时也可以增加土壤盐分的淋洗，加速土壤脱盐作用；同时，添加半量秸秆覆盖，野生芥菜生长更为茂盛，进而加速土壤洗盐效果和缓解控盐效果会比单独种植野生芥菜更好；另外，大量秸秆覆盖处理下，土壤盐分下层不断向下淋洗，地表控盐，最终表现为 0 ~ 100 cm 土层盐分含量相比 12 月进一步下降。因此，次年 4 月，种植野生芥菜和野生芥菜结合半量秸秆覆盖处理盐分出现明显下降趋势，且种植野生芥菜结合半量秸秆覆盖处理降盐趋势更为显著。

3.2 秸秆和植被覆盖对滩涂围垦区土壤肥力和物理性质的影响

本试验研究发现，种植田菁 - 野生芥菜显著增加了表层土壤有机碳、总氮、碱解氮含量（ $P < 0.05$ ），也增加了表层土壤孔隙度，降低了表层土壤容重，这与前人研究有一定的相似之处^[14,16,19]。如张立宾等^[19]在滨海地区的研究也发现，种植田菁可以有效增加土壤有机质含量，提高土壤中速效磷和速效钾含量；谢文军等^[14]研究发现，种植田菁可以显著降低土壤含盐量和容重，增加土壤有机质、速效钾、速效氮、团聚体含量及总孔隙度；杨东等^[16]研究发现，秸秆覆盖处理 1 年后对土壤有机质和碱解氮含量具有显著的增加效果，而对有效磷和速效钾含量没有显著的影响。另外，本研究发现，秸秆覆盖显著增加了土壤 pH 值，而植被覆盖

对土壤 pH 值没有显著的影响。前人研究表明,不同有机覆盖物(如秸秆覆盖、杂草覆盖及稻草覆盖等)处理1年均可以提高土壤 pH 值^[27],地表植被覆盖处理对土壤 pH 值没有明显影响^[28],这些与本研究结果相似。然而,也有研究发现,在微区试验下,不同秸秆覆盖模式对农田土壤 pH 均有一定程度的降低^[29]。这些差异可能是由于土壤 pH 值不仅受到有机覆盖物种类、覆盖方式和覆盖量等的影响,也会受到农耕措施如施肥(包括肥料类型、时间、方式等)、作物种类、灌溉等的影响,而各种农艺措施之间交互效应对土壤 pH 值也会产生不同的影响结果^[27,29-30]。

4 结论

通过本研究主要得出以下结论:(1) 15 t/hm² 秸秆覆盖和种植田菁-野生芥菜轮作或种植田菁-野生芥菜轮作结合 7.5 t/hm² 秸秆覆盖处理1年后,均对 0~40 cm 土层盐分含量具有显著的降盐和控盐作用,而 15 t/hm² 秸秆覆盖处理对 0~40 和 40~100 cm 土层盐分含量降低最为明显,降低幅度分别可以达到 97.0% 和 83.0% 以上;(2) 种植田菁-野生芥菜条件下,显著增加了表层土壤有机碳、全氮和碱解氮含量及总孔隙度,降低了土壤容重 ($P < 0.05$),但单独秸秆覆盖对土壤养分和土壤结构均没有显著的影响。总之,在江苏沿海滩涂地区中重度盐渍土中,虽然相比单独植被覆盖及植被结合半量秸秆覆盖措施,大量秸秆覆盖对滩涂土壤快速脱盐和控制返盐效果更为显著,但植被种植处理不仅降低了土壤盐分含量,同时也增加了有机质、全氮和碱解氮等养分和改善了土壤结构。综合考虑土壤降盐及培肥问题,选择种植合适的耐盐作物进行降盐改良土壤的同时,结合适量的秸秆覆盖,并充分利用江苏沿海降雨集中的特点,可能是滩涂进行中重度盐碱荒地改良和快速脱盐的重要措施之一。

参考文献:

[1] Griggs D, Stafford-Smith M, Gaffney O, et al. Policy: Sustainable development goals for people and planet [J]. *Nature*, 2013, 495 (7441): 305-307.

[2] Güler M, Arslan H, Cemek B, et al. Long-term changes in spatial variation of soil electrical conductivity and exchangeable sodium percentage in irrigated mesic ustifluvents [J]. *Agricultural Water Management*, 2014, 135: 1-8.

[3] Rath K M, Rousk J. Salt effects on the soil microbial decomposer

community and their role in organic carbon cycling: A review [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2015, 81: 108-123.

- [4] Food A O. Land resources, management, planning and use [J]. Available online: <http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush>, 2008.
- [5] Wong V N L, Greene R S B, Dalal R C, et al. Soil carbon dynamics in saline and sodic soils: a review [J]. *Soil Use and Management*, 2010, 26 (1): 2-11.
- [6] Lal R. Carbon sequestration in saline soils [J]. *Journal of Soil Salinity and Water Quality*, 2010, 1: 30-40.
- [7] Li X, Chang S X, Salifu K F. Soil texture and layering effects on water and salt dynamics in the presence of a water table: a review [J]. *Environmental Reviews*, 2014, 22 (1): 41-50.
- [8] 王琪琪, 濮励杰, 朱明, 等. 沿海滩涂围垦区土壤质量演变研究——以江苏省如东县为例 [J]. *地理科学*, 2016, 36 (2): 256-264.
- [9] 米迎宾, 杨劲松, 姚荣江, 等. 不同措施对滨海盐渍土壤呼吸、电导率和有机碳的影响 [J]. *土壤学报*, 2016, (3): 612-620.
- [10] Bezborodov G A, Shadmanov D K, Mirhashimov R T, et al. Mulching and water quality effects on soil salinity and sodicity dynamics and cotton productivity in Central Asia [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2010, 138 (1-2): 95-102.
- [11] Pang H, Li Y, Yang J, et al. Effect of brackish water irrigation and straw mulching on soil salinity and crop yields under monsoonal climatic conditions [J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97 (12): 1971-1977.
- [12] 张建兵, 杨劲松, 李芙蓉, 等. 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 [J]. *土壤学报*, 2014, 51 (01): 184-188.
- [13] 单娜娜, 赖波, 杨志莹, 等. 准噶尔盆地西北缘不同盐生植物种植后土壤盐分变化研究 [J]. *新疆农业科学*, 2016, 53 (12): 2314-2320.
- [14] 谢文军, 王济世, 靳祥旭, 等. 田菁改良重度盐渍化土壤的效果分析 [J]. *中国农学通报*, 2016, 32 (6): 119-123.
- [15] 孙博, 解建仓, 汪妮, 等. 秸秆覆盖对盐渍化土壤水盐动态的影响 [J]. *干旱地区农业研究*, 2011, 29 (4): 180-184.
- [16] 杨东, 李新举, 王梅. 秸秆覆盖对滨海盐渍土壤养分的影响 [J]. *水土保持学报*, 2016, 30 (3): 159-164.
- [17] 熊万英, 王建. 江苏沿海滩涂可持续发展研究 [J]. *国土与自然资源研究*, 2004, (4): 52-54.
- [18] 殷云龙, 於朝广, 华建峰, 等. 豆科植物田菁对滨海盐土的适应性及降盐效果 [J]. *江苏农业科学*, 2012, 40 (5): 336-338.
- [19] 张立宾, 郭新霞, 常尚连. 田菁的耐盐能力及其对滨海盐渍土的改良效果 [J]. *江苏农业科学*, 2012, 40 (2): 310-312.

- [20] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [21] 王艳, 廉晓娟, 张余良, 等. 天津滨海盐渍土盐运动规律研究 [J]. 天津农业科学, 2012, 18 (2): 95–97.
- [22] 王晓洋, 陈效民, 李孝良, 等. 不同改良剂对滨海盐渍土水盐特性的影响 [J]. 水土保持通报, 2013, 33 (1): 261–264.
- [23] 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.
- [24] 孙博, 解建仓, 汪妮, 等. 不同秸秆覆盖量对盐渍土蒸发、水盐变化的影响 [J]. 水土保持学报, 2012, 26 (1): 246–250.
- [25] 朱宏伟, 夏军, 曹国栋, 等. 盐渍化弃耕地土壤盐分动态及其影响因素 [J]. 土壤, 2013, 45 (2): 1339–1345.
- [26] 周丽, 王玉刚, 李彦, 等. 盐碱荒地开垦年限对表层土壤盐分的影响 [J]. 干旱区地理, 2013, 36 (2): 285–291.
- [27] 周江涛, 吕德国, 秦嗣军. 不同有机物覆盖对冷凉地区苹果园土壤水温环境及速效养分的影响 [J]. 应用生态学报, 2014, 25 (9): 2551–2556.
- [28] 白淑玉. 黄庐林地表植物覆盖对土壤质量影响的研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2009.
- [29] 李芙蓉. 滨海滩涂盐渍土覆盖阻盐控盐和土壤质量提升技术模式研究 [D]. 马鞍山: 安徽工业大学, 2013.
- [30] 田秀平, 张之一. 不同耕作制下白浆土 pH 变化规律研究 [J]. 东北农业大学学报, 2015, 46 (3): 37–40.

Effect of straw mulching and plant cover on soil salinity and soil fertility in reclamation area of tidal flats

ZHANG Jiao*, CUI Shi-you (Jiangsu Yanjiang Institute of Agricultural Sciences, Nantong Jiangsu 226541)

Abstract: To elucidate the impact of plant cover and straw mulching on soil salinity variations and soil fertility in coastal areas, a field experiment was conducted from May 2014 to May 2015 in the medium-heavy salinity of coastal areas in Rudong, Jiangsu Province. Four treatment were applied in the study: Control (bare land, CK), straw mulching (straw cover amount for 15 t/hm², SM), plant cover (PC) and plant cover combined with straw mulching (straw cover amount for 7.5 t/hm², PC + 1/2SM). Results showed that: (1) Compared with CK (bare area) treatment, after 6 months of mulching (in December), soil salinity at soil depth of 0~40 cm in SM treatment was decreased by 91.0% or more ($P < 0.05$), and there were no significant differences in PC and PC + 1/2SM treatment ($P > 0.05$); After about one year of mulching (in April), soil salinity at soil depth of 0~100 cm had obviously declined in SM, PC and PC + 1/2SM treatments, and soil salinity at soil depth of 0~40 cm and 40~100 cm were decreased by over 97.0% and 83.0%, over 40.0% and 30.0%, over 54.0% and 33.0%, respectively, in SM, PC and PC + 1/2SM treatments ($P < 0.05$); (2) Soil pH value at the depth of 0~100 cm in SM and PC + 1/2SM treatments were significantly higher than that in CK and PC treatments, but had no significant differences between CK and PC treatment; (3) PC and PC + 1/2SM treatments significantly increased soil organic carbon, total nitrogen, available nitrogen contents and soil total porosity and decreased soil bulk at topsoil (0~20 cm) ($P < 0.05$), but SM treatment had no significant effect on soil bulk, soil organic carbon, total nitrogen, available nitrogen, available phosphorus and other nutrients. Therefore, compared with CK and PC + 1/2SM treatments, SM treatment had more obvious effects on soil desalination, but considering the desalination and soil fertility improvement, appropriate salt-tolerant plants covering combined with suitable amount of straw mulching (such as cover amount of 15 t/hm²) in coastal areas may be adopted to promote soil desalting effects and soil improvement in the future.

Key words: straw mulching; plant cover; tidal flat reclamation; salinity changes; soil fertility