

微生物基覆盖材料对新垦滨海盐土理化性质的影响

韩瑞¹, 姚宇阗², 尚辉³, 张弛¹, 郑金海¹, 陈立华^{1*}

(1.河海大学, 南京 210098; 2.江苏省沿海开发集团有限公司, 南京 210019;

3.江苏省沿海开发(东台)有限公司, 江苏 东台 224200)

摘要: 微生物菌丝能够固结有机物物料形成的封闭覆盖物, 实现对土壤的有效覆盖。【目的】微生物基覆盖材料的应用可降低海涂土壤蒸发、增强土壤水分入渗、促进土壤团粒结构形成和稳定, 有利于减少表层土壤盐分累积, 加速盐分洗脱。【方法】设置原始匡围滩涂处理(RCS, 滩涂匡围完成后不进行人为处理)、常规处理(CVT, 淡水洗盐+牛粪堆肥, 牛粪堆施用量为 4 500 kg/hm²)、田菁处理(SES, 常规处理+田菁种植, 田菁播种量为 18 kg/hm²)和微生物基覆盖材料(Microbiological Covering Materials, MCMs)处理(MCT, 田菁处理+微生物基覆盖材料, 覆盖量 7 500 kg/hm²), 研究了不同农艺措施对滨海重盐土壤理化性状及盐分迁移影响。【结果】相较于 SES 处理, MCT 处理单位面积田菁生物量显著增加, 增加了约 75.83%。相较于原始匡围滩涂(RCS)处理, MCT 处理表层土壤(0~10 cm)田间持水率增加了 25.23%; 0~10、10~20、20~30 cm 土层土壤质量含水率分别增加了 37.34%、36.17%、19.67%, 体积质量分别降低了 9.52%、9.46%、8.67%, 毛管孔隙度分别增加了 14.55%、13.33%、10.54%; 0~30 cm 土层土壤有效磷量和速效钾量显著增加, 各土层有效磷量分别增加了 160.52%、297.58%、280.84%, 速效钾量分别增加了 186.25%、90.08%、6.00%; 0~30 cm 土层土壤有机质量显著提升, 各土层分别增加了 505.88%、594.44%、372.45%, 可溶性盐量显著降低, 分别降低了 87.25%、85.44%、77.12%。【结论】MCMs 覆盖显著增加了田菁的生物量、改善了土壤性状、增加了土壤养分、加速了土层盐分垂向迁移和降水入渗。因此, 微生物基覆盖材料的使用可以加快滨海滩涂重盐土壤中盐分的洗脱速率, 促进耐盐植物生长, 有利于滩涂生态建设。

关键词: 滨海滩涂; 微生物基覆盖材料; 重盐土; 土壤理化性状; 田菁

中图分类号: S156.4

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2020358

OSID:



韩瑞, 姚宇阗, 尚辉, 等. 微生物基覆盖材料对新垦滨海盐土理化性质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(3): 94-100.

HAN Rui, YAO Yutian, SHANG Hui, et al. Effect of Soil Amendment with Microbes on Physical and Chemical Properties of Reclaimed Saline Soil in Coastal Areas[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2021, 40(3): 94-100.

0 引言

【研究意义】滨海滩涂是自然界具有多重功能的生态系统, 是海岸带环境调节的重要载体^[1]。江苏位于长江、淮河、沂沭河三大水系的下游, 海岸线全长 954 km, 滩涂资源十分丰富, 部分海岸线段为淤涨型淤泥质滩涂^[2]。新形成的滩涂土壤多为氯化钠盐土^[3], 可溶性盐量高、有机质和氮磷量低、结构差、土壤生物量少、地表植被匮乏, 滩涂生态功能较差^[4-5], 因此, 对滨海滩涂地区进行生态建设十分必要。

【研究进展】滨海滩涂土壤可溶性盐量高是滩涂生态建设的主要障碍因子。江苏东部沿海滩涂区域地下水矿化度高, 土壤蒸发量大, 是导致滩涂土壤盐分高的主要原因。现阶段针对土壤降盐的生物方法有土壤改良剂修复技术^[6]、林草复合技术^[7]、蓝藻修复技术^[8]、污泥快速改良技术^[9]、微生物肥料改良技术^[10]、生物膜技术^[11-12]、耐盐植物栽培抑盐技术^[13]、秸秆覆盖技术^[14-15]、生物沉积法^[16]等方法, 目前现有的盐碱地改良措施确实对降低(洗脱或抑制)土壤盐分起到了积极作用, 但土壤改良剂修复、蓝藻修复和生物膜覆盖等方法仅适用于基础条件和经济条件较好的内陆局部盐碱土地区, 而海岸带滩涂盐土地区由于受到气候环境、交通、水资源等因素的限制, 相关技术难以大规模应用。滨海滩涂属于环境脆弱区域^[17], 开发适用于滨海滩涂盐土脱盐的高效生态修复技术十分迫切。

收稿日期: 2020-07-02

基金项目: 江苏省重点研发项目(BE2018736); 国家自然科学基金项目(41701304); 江苏省研究生科研创新计划项目(KYCX20_0553); 中央高校基本科研业务费项目(2018B49114); 南京市科技计划项目(20180504)

作者简介: 韩瑞(1996-), 女, 江苏人。硕士研究生, 主要研究方向为土壤微生物改良技术。E-mail: hr1171642603@163.com

通信作者: 陈立华(1982-), 男, 江苏人。副教授, 博士, 主要从事环境微生物技术研究。E-mail: chenlihua2001@163.com

【切入点】地表覆盖是减少土壤蒸发的重要措施，传统的覆盖材料多为塑料薄膜，不可回收或无法自然降解用塑料膜的广泛使用已经造成了严重的环境问题。近年来，作物秸秆开始被作为耕地表层覆盖物以实现土壤保温保墒，旋耕进入土地后，在土壤微生物的作用下分解转化成有机养分，不会增加环境负担，但是常规的直接秸秆覆盖封闭性差，覆盖均匀度易受天气影响^[18]，难以有效降低土壤蒸发。功能微生物菌株能够利用有机废弃物作为能源物质进行生长，菌丝的链/黏接作用将有机物形成较封闭的整体^[19]，已被广泛用于建筑、工业零件等新材料领域^[20]。【拟解决的关键问题】拟利用真菌菌丝的链/黏接作用，将秸秆等物质制成封闭程度较高的整体，探究其覆盖一段时间后对滩涂盐碱地土壤理化性质和盐分迁移的影响，以期为滨海盐土生态修复和建设提供切实可行的方法和技术。

1 材料与方法

1.1 试验区域概况

试验区位于江苏省盐城市东台市条子泥滩涂围垦区（32°47'23"N，120°55'15"E），中纬度亚洲大陆东岸，属亚热带和暖温带的过渡区，具有典型的季风气候特征，多年年平均风速 3.3 m/s，相对湿度 80%。常年平均气温 15.0 ℃，无霜期 220 d，日照时间 2 130.5 h。该区多年平均降水量 1 061.2 mm，年均蒸发量 882.8 mm，年均蒸发量占降雨量的 83%左右^[21]。试验地为 2014 年围垦滩涂，地表可溶盐表聚现象明显。垦区内土壤为粉砂质重盐土，土壤 pH 值为 7.5~11，可溶性盐量为 3~20 g/kg，有机质量为 1~8 g/kg。地下水矿化度高、埋深浅，平均埋深小于 1.5 m。

1.2 微生物基覆盖材料

试验用的微生物基覆盖材料（Microbiological Covering Materials, MCMs）是由高大毛霉（*Mucor mucedo*）2820 和以秸秆为主要原料的物质制成。高大毛霉菌株 2820 分离自江苏海涂盐碱土壤，在其生长过程中形成的菌丝，固结生物材料形成气密性良好的毡状覆盖物，能够增加降水入渗，减少土壤蒸发，抑制土壤返盐^[22]，实验室条件下测定显示，MCMs 覆盖后，土壤蒸发减少量可达 8%，降水利用率提高 77%。

1.3 试验设计

试验设置 4 个处理：①原始匡围滩涂处理（Reclaimed Coastal Soil, RCS），匡围完成后不进行人为处理的自然滩涂；②常规处理（Conventional Treatment, CVT），对匡围完成后的滩涂土壤进行淡水泡田处理，水层深度 20 cm，浸泡 24 h 后将水排出，

相同的洗盐措施重复 3 次，最后施用牛粪堆肥肥料（具体参数见表 1）4 500 kg/hm²，采用 1GQN-220 型旋耕机将肥料与 0~25 cm 土层土壤混合，不种植植物；③田菁处理（*Sesbania cannabina* Treatment, SES）处理，在 CVT 处理基础上种植田菁（*S. cannabina*）；④微生物基覆盖材料处理（Microbiological Covering Materials Treatment, MCT），在 SES 处理基础上覆盖 MCMs。田菁播种时各处理 0~30 cm 土层的土壤理化性状见表 2。

表 1 牛粪堆肥理化性质

Table 1 Physical and chemical features of cow dung				
pH 值	质量含水率/%	有机质量/ (g kg ⁻¹)	总氮量/ (g kg ⁻¹)	总磷量/ (g kg ⁻¹)
7.69	66.75	729.65	12.68	4.06

表 2 土壤的理化性状

Table 2 Physical and chemical features of soil						
处理	体积质量/ (g cm ⁻³)	毛管 孔隙度/%	田间 持水率/%	pH 值	可溶性盐量/ (g kg ⁻¹)	有机质量/ (g kg ⁻¹)
RCS	1.48	32.5	21.7	8.82	16.12	1.49
CVT	1.46	32.7	22.6	8.76	4.26	3.72
SES	1.46	32.7	22.6	8.71	3.73	4.07
MCT	1.43	32.6	22.6	8.72	3.71	4.13

试验选用盐菁胶 1 号田菁，2018 年 6 月 10 日播种，播种量 18 kg/hm²。每个小区面积 40 m²（长×宽为 8 m×5 m），每个处理设置 3 个重复。试验除处理措施不同外，其他管理措施一致。1 个田菁生长周期后（2018 年 12 月 6 日）收割，田菁收割前 1 天采集土壤样品。

MCMs 覆盖方式：土壤表层均匀覆盖由联合收割机收割水稻后产生的秸秆，覆盖量 7 500 kg/hm²，秸秆上施用高大毛霉菌剂复合物（复合物原料组成及性质见表 3），使用量为 7 500 kg/hm²，通过拍打使其落入秸秆中下层。

表 3 高大毛霉菌剂复合物原料组成及其性质

Table 3 Components of the raw material and features of <i>M. mucedo</i> mixture						
原料	占比/%	pH 值	含水率 /%	有机质量/ (g kg ⁻¹)	总氮量/ (g kg ⁻¹)	总磷量/ (g kg ⁻¹)
金针菇渣	55.5	6.8	76.25	655.78	6.88	2.59
高大毛霉菌粉	12.0	7.6	15.62	692.36	16.87	6.53
麦麸	20.0	6.9	26.35	703.76	5.07	7.39
玉米芯粉	12.5	7.1	23.57	759.80	3.81	1.07

测定 0~30 cm 土层的土壤理化性质和 0~100 cm 不同土层土壤含盐量，利用土钻和环刀按 0~10、10~20 和 20~30 cm 土层深度采集土壤样品，100 cm 深土壤利用土钻按每 10 cm 土层取样。采用称质量法测定田菁生物量，使用游标卡尺测量根粗，米尺测量植株株

高。采用环刀法测定土壤质量含水率、田间持水率、体积质量以及毛管孔隙度,重铬酸钾氧化法测定土壤有机质量,紫外分光光度计法测定土壤有效磷量,火焰光度计法测定土壤速效钾量,烘干法测定土壤可溶性盐量^[23]。

1.4 统计分析

采用 SPSS 18.0 统计软件进行数据分析,显著性分析采用 Duncan's 新复极差法,显著性水平为 0.05,绘图使用 Excel 软件。

表 4 不同处理田菁生物学性状

Table 4 The various indicators of *sesbania* under different treatments

处理	生物量/(t hm ⁻²)	株高/cm	须根数	主根粗/mm	须根粗/mm
SES	21.93±3.16b	84.00±0.82b	52.04±5.73b	12.33±1.70a	2.30±0.50b
MCT	38.56±5.28a	107.00±0.91a	68.12±2.33a	15.00±1.01a	5.00±1.01a

注 同一列数据后不同小写字母表示不同处理间存在显著性差异 ($P<0.05$),下同。

表 5 不同处理土壤理化性质

Table 5 Physical and chemical features of soil under different treatments

指标	处理	土层深度/cm		
		0~10	10~20	20~30
田间持水率/%	RCS	21.80±0.83c	-	-
	CVT	23.20±0.45bc	-	-
	SES	25.00±1.42b	-	-
	MCT	27.30±0.37a	-	-
质量含水率/%	RCS	23.35±0.44c	22.42±0.65c	22.32±0.39c
	CVT	24.36±0.31c	23.44±0.30c	22.00±0.44c
	SES	27.41±0.51b	25.70±0.43b	24.65±0.66b
	MCT	32.07±0.73a	30.53±0.80a	26.71±0.50a
体积质量/(g cm ⁻³)	RCS	1.47±0.01a	1.48±0.01a	1.50±0.02a
	CVT	1.44±0.01b	1.46±0.00a	1.48±0.01a
	SES	1.37±0.01c	1.39±0.02b	1.42±0.01b
	MCT	1.33±0.02d	1.34±0.01c	1.37±0.02c
毛管孔隙度/%	RCS	32.3±0.28d	31.5±0.40c	31.3±0.51c
	CVT	33.5±0.34c	32.3±0.52c	31.9±0.36bc
	SES	34.9±0.21b	33.9±0.24b	33.1±0.63b
	MCT	37.0±0.86a	35.7±0.46a	34.6±0.79a
有效磷量/(mg kg ⁻¹)	RCS	51.98±2.51d	23.12±4.90c	16.91±1.88d
	CVT	71.06±2.74c	36.00±4.12bc	28.45±5.99c
	SES	113.67±7.24b	46.21±7.61b	40.43±3.14b
	MCT	135.42±7.13a	91.92±8.16a	64.40±5.58a
速效钾量/(mg kg ⁻¹)	RCS	80.00±1.41d	117.67±1.25c	127.67±3.40a
	CVT	117.00±1.41c	123.00±2.94c	126.33±1.70a
	SES	156.00±1.63b	185.07±1.63b	132.00±5.35a
	MCT	229.00±5.35a	223.67±7.72a	135.33±4.03a
有机质量/(g kg ⁻¹)	RCS	1.36±0.45d	1.08±0.09d	0.98±0.03c
	CVT	3.67±0.23c	2.74±0.90c	2.43±0.42b
	SES	6.36±0.46b	5.46±0.40b	3.67±0.47a
	MCT	8.24±0.58a	7.50±0.36a	4.63±0.69a
可溶性盐量/(g kg ⁻¹)	RCS	17.72±0.91a	16.97±0.45a	13.46±0.86a
	CVT	12.08±0.82b	11.18±0.76b	8.77±0.65b
	SES	4.41±0.43c	4.64±0.58c	5.06±0.61c
	MCT	2.26±0.20d	2.47±0.35d	3.08±0.15d

2 结果与分析

2.1 不同处理对田菁生物学性状的影响

不同处理田菁生物学性状见表 4。从表 4 可以看出,与 SES 处理相比,MCT 处理田菁生物量、株高、根系须根数和主根粗分别增加了 75.83%、27.38%、30.90%和 21.65% ($P<0.05$)。MCMs 覆盖对田菁生长有比较明显的促进作用,显著改善了田菁的生物学性状。

2.2 不同处理对土壤理化性质的影响

不同处理土壤理化性质见表 5。从表 5 可以看出,1 个田菁生长周期后,RCS 处理土壤的表层(0~10 cm)土壤田间持水率平均值为 21.8%,与之相比,CVT、SES 处理和 MCT 处理土壤田间持水率分别增加了 6.42%、14.68%和 25.23%;MCT 处理较 CVT 处理和 SES 处理增加了 17.67%和 9.20% ($P<0.05$)。可见,微生物基覆盖材料的覆盖对于提升土壤田间持水率效果显著。

RCS 处理和 CVT 处理的 0~30 cm 土层的土壤质量含水率相对稳定,在 22.70%和 23.27%左右,MCT 处理和 SES 处理土壤含水率较 RCS 处理和 CVT 处理显著增加。相较于 RCS 处理,MCT 处理 0~30 cm 各土层土壤含水率分别增加了 37.34%、36.17%和 19.67% ($P<0.05$)。

RCS 处理土壤体积质量无明显变化,0~30 m 土层土壤体积质量为 1.47~1.50 g/cm³,CVT、MCT 处理和 SES 处理土壤体积质量较 RCS 处理显著降低。相较于 RCS、CVT 处理和 SES 处理,MCT 处理 0~10 cm 土壤体积质量分别降低了 9.52%、7.64%和 2.92%;10~20 cm 土壤体积质量分别降低了 9.46%、8.22%和 3.60%;20~30 cm 土壤体积质量分别降低了 8.67%、7.43%和 3.52% ($P<0.05$)。

RCS 处理 0~10 cm 土壤毛管孔隙度为 32.3%,相较 RCS 处理,CVT、SES 处理和 MCT 处理 0~10 cm 土壤毛管孔隙度分别增加 3.72%、8.05%和 14.55%。相较于 RCS、CVT 处理和 SES 处理,MCT 处理 0~10 cm 土壤毛管孔隙度分别提高了 14.55%、10.45%和 6.02%;10~20 cm 土壤分别提高了 13.33%、10.53%和 5.31%;20~30 cm 土壤分别提高了 10.54%、8.46%和 4.53% ($P<0.05$)。MCT 处理提高了土壤持水能力,

增加了土壤质量含水率,对滨海滩涂土壤的物理结构起到了显著改善作用。

田菁收获期测得 RCS 处理 0~10 cm 土壤有效磷量为 51.98 mg/kg, CVT、MCT 处理和 SES 处理 0~10 cm 土壤有效磷较 RCS 处理显著提升。与 RCS、CVT 处理和 SES 处理相比, MCT 处理 0~10 cm 土壤有效磷分别增加了 160.52%、90.57%和 19.13%; 10~20 cm 土壤分别增加了 297.58%、155.33%和 98.92%; 20~30 cm 土壤分别增加了 280.84%、126.14%和 59.29% ($P<0.05$)。

RCS 处理 0~10 cm 土壤速效钾量为 80.00 mg/kg, 相较 RCS、CVT 处理和 SES 处理, MCT 处理 0~10 cm 土壤速效钾量分别增加 186.25%、95.73%和 46.79%, 10~20 cm 土壤分别增加 90.08%、81.85%和 20.86%, 20~30 cm 土壤分别增加 6.00%、7.12%和 2.52%, MCT 处理下土壤速效钾较原始匡围滩涂显著提升 ($P<0.05$)。

RCS 处理表层土壤有机质量为 1.36 g/kg, 较试验前无明显变化。相对于 RCS 处理, CVT、SES 处理和 MCT 处理 0~10 cm 土层土壤有机质分别增加了 169.85%、367.65%和 505.88%。与 RCS 处理相比, MCT 处理 0~10、10~20、20~30 cm 土层土壤有机质分别增加了 505.88%、594.44%和 372.45% ($P<0.05$)。与 SES 处理相比, MCT 处理 0~30 cm 各土层土壤有机质分别增加了 29.56%、37.36%和 26.16% ($P<0.05$)。

RCS 处理表层土壤可溶盐量为 17.72 g/kg, 相较于 RCS 处理, CVT、SES 处理和 MCT 处理土壤可溶性盐量显著降低 ($P<0.05$)。与 RCS、CVT 处理和 SES 处理相比, MCT 处理 0~10 cm 土壤可溶性盐量分别降低了 87.25%、81.29%和 48.75%, 10~20 cm 土壤分别降低了 85.44%、77.91%和 46.77%, 20~30 cm 土壤分别降低了 77.12%、64.88%和 39.13% ($P<0.05$)。微生物基覆盖材料的覆盖可以有效降低 0~30 cm 土层土壤可溶性盐量, 抑制地表盐分聚集。

2.3 不同处理对土壤盐分分布的影响

不同处理 0~100 cm 土层土壤盐分分布情况见图 1。从图 1 可以看出, RCS 处理 0~100 cm 土层土壤可溶性盐量变化较大, 变化范围为 7.08~17.72 g/kg, CVT 处理变化范围为 5.40~12.08 g/kg, SES 处理为 4.43~6.44 g/kg, MCT 处理为 2.56~6.35 g/kg, CVT、SES、MCT 处理土壤可溶性盐量显著低于 RCS 处理, 其中 MCT 处理最低。RCS 处理和 CVT 处理的土壤可溶性盐量随着土层深度的增加而降低, 在接近地下水时, 其量随距地下水距离的减小而增加; SES 处理和 MCT 处理土壤可溶性盐量与土层深度的增加呈正相关的趋势。

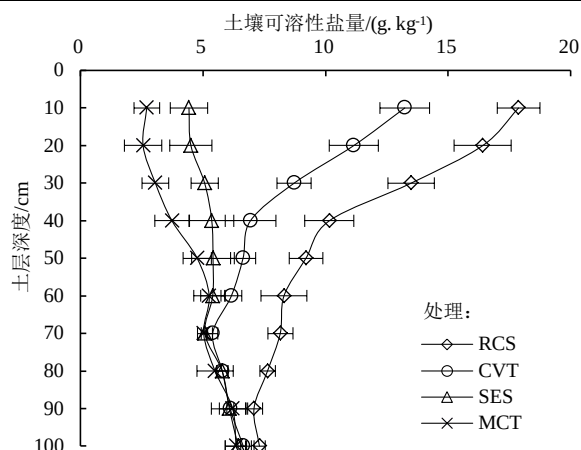


图 1 不同处理土壤可溶性盐量垂向分布

Fig.1 The vertical distribution of soluble salt content in soil

3 讨论

滨海滩涂地区土壤蒸发量大、含盐量高, 植物定植困难, 植被建设有利于减少土壤蒸发、增加降水入渗、提升水资源利用效率、改善生态环境^[24]。试验结果表明, 淡水灌溉洗盐、有机肥施用、耐盐植物种植和微生物材料 MCMs 的覆盖 (CVT、SES 和 MCT 3 种处理) 均有利于滩涂盐土土壤结构的改善, 且组合措施显著优于单项措施。MCMs 覆盖能够显著增加田菁的生物量, 这与 MCMs 覆盖降低土壤蒸发、保持土壤水分、抑制返盐具有一定的相关性, 同时作物秸秆和巨大毛霉菌剂复合分解产生的有机养分可以及时补充土壤养分, 促进耐盐植物田菁的生长。田菁根系及其分泌物能够改良土壤结构, 根系伸展增加土壤孔隙度, 在降低土壤体积质量的同时, 有利于土壤导水入渗, 加速盐分洗脱, SES 处理和 MCT 处理土壤体积质量和毛管孔隙度等物理性质显著优于 CVT 处理, 结果与 Moreno-Barriga 等^[25]研究成果一致。

磷和钾作为主要植物营养元素, 在植物体内的量仅次于氮, 其量多寡对于植物生长至关重要。在植物生长发育过程中, 磷和钾参与酶系统的活化、光合作用、呼吸作用、同化产物的运输等, 有助于促进植物根系形成和生长, 增强植物对外界环境的适应能力, 提高植物抗病性和产量^[24]。MCMs 覆盖结合田菁种植的盐碱土改良措施有利于增加土壤有效磷、速效钾和有机质等植物生长所需养分。原始自然滩涂盐土有效磷在 16.91~51.98 mg/kg 之间, 属于中低养分水平, 通过田菁种植和 MCMs 覆盖 (MCT 处理), 0~30 cm 土层土壤有效磷均高于 60 mg/kg, 其中表层土壤 (0~10 cm) 达 135 mg/kg。RCS 处理表层土壤速效钾量不足 80 mg/kg, 属于低养分水平, 若要满足植物生长则需人工施用钾肥, MCT 处理下土壤最高可达 229 mg/kg。Tran 等^[26]和 Zhang 等^[27]研究发现土壤磷的浸

出与土壤有机碳 (DOC) 之间存在很强的相关性。土壤腐殖质、田菁根际分泌物和微生物基覆盖材料中的秸秆、金针菇渣、麦麸、玉米芯粉等物质在部分耐盐渍功能微生物的分解和矿化作用下转化为有机碳和植物营养元素,大幅度提升了土壤养分和 DOC 量,随着 DOC 量的增加,土壤矿质元素磷、钾的浸出效率显著提升,从而实现土壤有效磷和速效钾量的增加,这与 Dhaliwal 等^[28]和 Alori 等^[29]的有机物积累影响农业土壤中营养素转化的研究结果一致。原始匡围滩涂因水流交汇处流速降低,淤积形成,土壤有机质贫乏,经取样测定得 RCS 处理表层土壤有机质量仅为 0.51 g/kg。MCT 和 SES 处理对增加各土层土壤有机质效果显著。经过 1 个田菁生长周期, MCT 处理表层土壤有机质量可达 6.46 g/kg,较 CVT 处理显著提高。MCMs 覆盖和田菁种植显著增加土壤有机质,这与本试验施入大量高大毛霉菌剂复合物有关。此外,研究使用的功能菌株高大毛霉 (*M. mucedo*) 以及其他滩涂土壤微生物通过分解动物残体、植物凋落物、根系分泌物和覆盖材料产生了大量有机质,进一步实现土壤养分的补充。

人工洗盐措施能够将土壤盐分快速洗脱,实现土壤可溶性盐分的大幅度降低,试验结果表明,淡水洗盐可洗脱土壤 65%左右的盐分。试验区内平均地下水位约为-100 cm, RCS 处理与 CVT、SES 处理和 MCT 处理位于不同田块, RCS 处理所处田块为原始自然滩涂,未经过任何灌溉、排水和土壤脱盐改良处理,因而该处理中各土层深度的土壤可溶性盐量显著高于 CVT、SES 处理和 MCT 处理。田菁播种前, CVT、SES 处理和 MCT 处理 0~100 cm 土层盐分分布初始值相同,经过不同措施的处理, 0~50 cm 土层深度盐分分布情况变化较大。单独种植田菁 SES 处理土层含盐量高于 MCT 处理,这与 MCT 处理 MCMs 覆盖抑制土壤蒸发有关,试验周期 (1 个田菁生长周期) 内, MCMs 覆盖通过降低地表温度、保持土壤湿度来减少地表水分的蒸发,进而削弱地下水上升补给表层土壤,抑制盐分向上迁移和表聚。此外,微生物基覆盖材料的覆盖有效缓解了降雨对地表造成的冲击力,遏制土壤孔隙的再次填充,有利于增加土壤降水入渗,促进可溶盐的淋溶,本文试验得出的结果与 Mahdavi 等^[30]关于秸秆覆盖减少土壤表面的蒸发和短波辐射的研究结果一致。

4 结 论

1) 利用微生物菌株高大毛霉 2820 的菌丝链/黏接作用制备的微生物基覆盖材料具有气密性好、稳定性强的特点。

2) 微生物基覆盖材料的应用对于增加土壤田间持水率、含水率、孔隙度、有效磷、速效钾和有机质量,降低土壤体积质量,减少土壤中可溶性盐量,改善盐碱土的土壤结构有较好的效果。

3) 微生物基覆盖材料可与灌溉脱盐和施用有机肥等农艺措施联合使用,在一个作物生长周期内能够显著改善土壤理化性质,快速降低土壤盐分,实现土壤结构优化和质量提升,且组合措施显著优于单项措施。

参考文献:

- [1] YOU S, KIM M, LEE J, et al. Coastal landscape planning for improving the value of ecosystem services in coastal areas: Using system dynamics model[J]. Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987), 2018, 242: 2 040-2 050.
- [2] FANG S B, JIA X B, QIAN Q T, et al. Reclamation history and development intensity determine soil and vegetation characteristics on developed coasts[J]. The Science of the Total Environment, 2017, 586: 1 263-1 271.
- [3] VERMA T P, MOHARANA P C, NAITAM R K, et al. Impact of cropping intensity on soil properties and plant available nutrients in hot arid environment of North-Western India[J]. Journal of Plant Nutrition, 2017, 40(20): 2 872-2 888.
- [4] CHEN Cheng. Coastal tidal flat development mode choice and spatial configuration of different functional areas in nantong coastal zones[J]. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(1): 138-147.
- [5] VIEIRA L R, MORGADO F, NOGUEIRA A J A, et al. Integrated multivariate approach of ecological and ecotoxicological parameters in coastal environmental monitoring studies[J]. Ecological Indicators, 2018, 95: 1 128-1 142.
- [6] LUO S S, WANG S J, TIAN L, et al. Aggregate-related changes in soil microbial communities under different ameliorant applications in saline-sodic soils[J]. Geoderma, 2018, 329: 108-117.
- [7] XIA J B, REN J Y, ZHANG S Y, et al. Forest and grass composite patterns improve the soil quality in the coastal saline-alkali land of the Yellow River Delta, China[J]. Geoderma, 2019, 349: 25-35.
- [8] LI H, ZHAO Q, HUANG H. Current states and challenges of salt-affected soil remediation by cyanobacteria[J]. The Science of the Total Environment, 2019, 669: 258-272.
- [9] BAI Y C, ZANG C Y, GU M J, et al. Sewage sludge as an initial fertility driver for rapid improvement of mudflat salt-soils[J]. The Science of the Total Environment, 2017, 578: 47-55.
- [10] CONG P F, OUYANG Z, HOU R X, et al. Effects of application of microbial fertilizer on aggregation and aggregate-associated carbon in saline soils[J]. Soil and Tillage Research, 2017, 168: 33-41.

- [11] 吴思, 高维常, 蔡凯, 等. PBAT 生物降解地膜降解特征对不同土壤水分的响应[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(6): 43-50.
WU Si, GAO Weichang, CAI Kai, et al. The impact of soil moisture on degradation of biodegradable PBAT mulching films[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(6): 43-50.
- [12] WEERASINGHE MOHOTTIGE T N, CHENG K Y, KAKSONEN A H, et al. Oxalate degradation by alkaliphilic biofilms acclimatised to nitrogen-supplemented and nitrogen-deficient conditions[J]. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 2018, 93(3): 744-753.
- [13] HAN L P, LIU H T, YU S H, et al. Potential application of oat for phytoremediation of salt ions in coastal saline-alkali soil[J]. Ecological Engineering, 2013, 61: 274-281.
- [14] 梅四卫, 朱涵珍, 王术, 等. 不同覆盖方式对土壤水肥热状况以及玉米产量影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(4): 68-73.
MEI Siwei, ZHU Hanzhen, WANG Shu, et al. Effects of different mulching methods on soil moisture, nutrient, temperature status and corn yield[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(4): 68-73.
- [15] 王宏, 徐娅玲, 刘海涛, 等. 耕作方式和土层厚度深度对紫色土胶体迁移的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(3): 25-34.
WANG Hong, XU Yaling, LIU Haitao, et al. The movement of colloids in purple soil is affected by tillage[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(3): 25-34.
- [16] GRABIEC A M, STARZYK J, STEFANIAK K, et al. On possibility of improvement of compacted silty soils using biodeposition method[J]. Construction and Building Materials, 2017, 138: 134-140.
- [17] DE ANDRADE T S, DE OLIVEIRA SOUSA P H G, SIEGLE E. Vulnerability to beach erosion based on a coastal processes approach[J]. Applied Geography, 2019, 102: 12-19.
- [18] MA D, CHEN L, QU H C, et al. Impacts of plastic film mulching on crop yields, soil water, nitrate, and organic carbon in Northwestern China: A meta-analysis[J]. Agricultural Water Management, 2018, 202: 166-173.
- [19] ZIEGLER A R, BAJWA S G, HOLT G A, et al. Evaluation of physico-mechanical properties of mycelium reinforced green biocomposites made from cellulosic fibers[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2016, 32(6): 931-938.
- [20] JIANG L, WALCZYK D, MCINTYRE G, et al. Manufacturing of biocomposite sandwich structures using mycelium-bound cores and preforms[J]. Journal of Manufacturing Processes, 2017, 28: 50-59.
- [21] 陈永华. 东台年鉴[Z]. 南京: 江苏人民出版社, 2018.
- [22] 陈立华, 郑金海, 程瑶, 等. 一种海涂土壤增加降水入渗和减少地表蒸发的生物基覆盖材料及其制备方法: CN107286941A[P]. 2017-10-24.
- [23] 杨丹, 熊东红, 刘守江, 等. 土壤理化及力学性质对干热河谷台地边坡沟蚀发育的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 34(4): 170-176.
YANG Dan, XIONG Donghong, LIU Shoujiang, et al. Impacts of soil physical-chemical and mechanical properties on gully erosion development on terrace slopes in dry-hot valley region[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(4): 170-176.
- [24] TORDONI E, NAPOLITANO R, MACCHERINI S, et al. Ecological drivers of plant diversity patterns in remnants coastal sand dune ecosystems along the northern Adriatic coastline[J]. Ecological Research, 2018, 33(6): 1 157-1 168.
- [25] MORENO-BARRIGA F, D ÍAZ V, ACOSTA J A, et al. Organic matter dynamics, soil aggregation and microbial biomass and activity in Technosols created with metalliferous mine residues, biochar and marble waste[J]. Geoderma, 2017, 301: 19-29.
- [26] TRAN C T K, WATTS-WILLIAMS S J, SMERNIK R J, et al. Effects of plant roots and arbuscular mycorrhizas on soil phosphorus leaching[J]. Science of the Total Environment, 2020, 722: 137 847.
- [27] ZHANG M Y, RIAZ M, LIU B, et al. Two-year study of biochar: Achieving excellent capability of potassium supply via alter clay mineral composition and potassium-dissolving bacteria activity[J]. The Science of the Total Environment, 2020, 717: 137 286.
- [28] DHALIWAL S S, NARESH R K, MANDAL A, et al. Dynamics and transformations of micronutrients in agricultural soils as influenced by organic matter build-up: A review[J]. Environmental and Sustainability Indicators, 2019, 1/2: 100 007.
- [29] ALORI E T, GLICK B R, BABALOLA O O. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture[J]. Frontiers in Microbiology, 2017, 8: 971.
- [30] MAHDAVI S M, NEYSHABOURI M R, FUJIMAKI H, et al. Coupled heat and moisture transfer and evaporation in mulched soils[J]. Catena, 2017, 151: 34-48.

Effect of Soil Amendment with Microbes on Physical and Chemical Properties of Reclaimed Saline Soil in Coastal Areas

HAN Rui¹, YAO Yutian², SHANG Hui³, ZHANG Chi¹, ZHENG Jinhai¹, CHEN Lihua^{1*}

(1. Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Jiangsu Province Costal Development Co. Ltd, Nanjing 210019, China;

3. Jiangsu Province Costal Development (DongTai) Co. Ltd, Dongtai 224200, China)

Abstract: 【Background】 Tidal flat is a natural ecological system with multiple functions for regulating coastal environments. Soil in most tidal flats in China is rich in sodium chloride but is poorly structured, short of organic matter and nutrients such as nitrogen and phosphorus, which undermine the ecological services the flats are expected to provide. Remediating tidal flats is therefore imperative to improve their functions, a key in which is to improve soil permeability and aggregation so as to facilitate salt leaching and plant growth. 【Objective】 The purpose of this paper is to elucidate the feasibility of using fungi hyphae as a soil conditioner to improve soil quality and reduce water evaporation. 【Method】 We compared four remediating treatments: reclaiming the coastal soil only (RCS), conventional remediation coupled with freshwater washing and cattle manure application (CVT), CVT plus planting *Sesbania cannabina* (SES), amending the soil with fungi hyphae (MCMs), MCMs plus planting *Sesbania cannabina* (MCT). The efficacy of MCMs at improving physical and chemical properties of soil, as well as salt leaching and growth of the *S. cannabina* was measured and compared with other treatments. 【Result】 Compared to SES, MCMs significantly increased the biomass of *S. cannabina* ($P<0.05$) by 75.83%. Compared to RCS, MCT increased: ①the field capacity of the 0~10 cm soil by 25.23%; ②bulk density of soil in 0~10, 10~20 and 20~30 cm layers by 9.52%, 9.46%, 8.67%, respectively; ③water content in 0~10, 10~20, 20~30 cm layers by 37.34%, 36.17% and 19.67%, respectively; ④the capillary porosity in 0~10, 10~20, 20~30 cm layers by 14.55%, 13.33% and 10.54% respectively; ⑤the available P in 0~10, 10~20, 20~30 cm layers by 160.52%, 297.58% and 280.84%, respectively; ⑥the available K in 0~10, 10~20, 20~30 cm layers by 186.25%, 90.08 % and 6.00 %, respectively; ⑦the organic matter content in 0~10, 10~20 and 20~30 cm layers by 505.88%, 594.44% and 372.45% respectively; ⑧the soluble salt content in 0~10, 10~20, 20~30 cm layers by 87.25%, 85.44% and 77.12% respectively. 【Conclusion】 MCT increased permeability of the surface soil to infiltrate precipitation and reduced the evaporation, thereby alleviating secondary salinization. Our results also showed that MCMs significantly increased the biomass of *S. cannabina* and soil nutrients, accelerating salt migration as a result.

Key words: coastal area; microbial mulching; saline soil; soil physical and chemical properties; *Sesbania cannabina*

责任编辑: 陆红飞