

不同有机物料对原生盐碱地水稳性团聚体特征的影响

何瑞成, 吴景贵, 李建明

(吉林农业大学资源与环境学院, 长春 130118)

摘要: 为了研究不同种类和形态的有机物料对原生盐碱地水稳性团聚体特征以及物理性质的影响,以吉林西部地区原生盐碱地为研究对象,通过大田试验,分析了颗粒玉米秸秆、正常玉米秸秆、牧草以及羊粪等有机物料对原生盐碱地的浸水容重、沉降系数、田间持水量和蒸发速率等物理指标的影响,以及对土壤水稳性大团聚体和微团聚体的数量、形态、平均质量直径(MWD)、破坏率(PAD)、水稳系数、平均质量比表面积和分形维数等指标的影响。结果表明:(1)各处理中水稳性团聚体组成以微团聚体占主要成分,其中以0.05~0.25 mm粒径为主,不同有机物料处理对各粒级含量影响差异显著。(2)各有机物料处理的土壤水稳性团聚体的稳定性相对CK处理均有所提高,羊粪处理对MWD提高效果最好,提高了104%,而颗粒处理提高水稳系数和降低PAD效果最好。(3)不同有机物料处理对水稳性团聚体形态均有改善作用,颗粒处理改善效果最好,形态圆润表面粗糙,大小孔径分布适中。(4)颗粒处理与其他处理的土壤团聚体分形维数差异显著,其他处理之间差异不显著,颗粒处理分形维数最低,相比CK处理降低了2.62%。各有机物料处理的平均质量比表面积与CK差异显著,其中正常秸秆处理最好,相比CK提高了171.01%。(5)各有机物料处理与CK处理相比,对原生盐碱土物理性质均有改善作用,颗粒处理整体效果最好。浸水容重与PAD和分形维数具有显著正相关性,与水稳系数和平均重量直径呈显著负相关性。沉降系数相关性类似浸水容重,田间持水量相反,蒸发速率则未显示出显著相关性,各物理参数与平均质量比表面积未显示出显著相关性。综合得出,有机物料能够改善原生盐碱土壤结构,同种有机物料不同形态作用效果不同,本试验中经过粉碎高温高压处理的颗粒秸秆效果远好于其他处理,有效地缩短了改良时间。

关键词: 有机物料; 原生盐碱地; 水稳性团聚体; 物理性质; 扫描电镜; 分形维数

中图分类号: S156.4⁺4; S152.4⁺81 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2017)03-0310-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2017.03.051

Effects of Different Organic Materials on the Characteristics of Water Stable Aggregates in a Primary Saline Alkali Soil

HE Ruicheng, WU Jinggui, LI Jianming

(College of Resources and Environment, Jilin Agricultural University, Changchun 130118)

Abstract: The study took the primary saline alkali land in the western of Jilin Province as the research object to investigate the effects of different types and forms of organic materials (granular corn straw, normal corn straw, grass, and sheep manure) on the physical properties and features of water stable aggregates in a primary saline soil by analyzing the immersion bulk density, sedimentation coefficient, field capacity, evaporation rate and quantity, form, failure rate (PAD), water stability coefficient, mean weight soil surface, mean weight diameter (MWD), fractal dimension of soil water stable macro-aggregates and micro-aggregates in the primary saline alkali soil treated with different organic materials in the experimental field. The results showed that: (1) The main components of water stable aggregates were micro-aggregates in each treatment, with the 0.05–0.25 mm micro-aggregates being dominant. The effects of different organic materials on the contents of aggregates of different sizes were significantly different. (2) The stability of soil water-stable aggregates treated with organic materials was better than that of CK. The optimum improvement in MWD was the sheep manure treatment, in which MWD was increased by 104%. The optimum improvement in water stability coefficient and the optimum reduction in PAD was the granular corn straw treatment. (3) The mor-

收稿日期: 2016-12-29

资助项目: 吉林省科技厅重大科技招标专项“畜禽粪便高效转化生产有机肥关键技术及产品研发”(20150203004NY); 吉林农业大学博士启动基金项目“不同来源有机物料对农田黑土土壤动物群落结构影响的研究”(201634)

第一作者: 何瑞成(1993—), 男, 硕士研究生, 主要从事盐碱地改良研究。E-mail: 747267753@qq.com

通信作者: 吴景贵(1965—), 男, 博士, 教授, 主要从事土壤环境优化与农业废弃物资源化研究。E-mail: wujingguik@163.com

phology of water stable aggregates was improved by all organic materials, with the granular corn straw treatment showing the best improvement effect, in which the shape of aggregates was round, the surface was rough, and the size distribution was moderate. (4) There were significant differences in fractal dimension of soil aggregates between the granular corn straw treatment and other treatments, but there was no significant difference among other treatments. The fractal dimension of the granular corn straw treatment was the lowest, being 2.62% lower than that of CK. The average mass specific surface area of each organic material treatment was significantly different from that of CK, among which the normal corn straw treatment was the best, which increased the average mass specific surface area by 171.01%. (5) Compared to CK, each organic material treatment had a positive effect on the physical properties of the primary saline alkali soil. Immersion bulk density had a significant positive correlation with PAD and fractal dimension, and had a significant negative correlation with water stability coefficient and average weight diameter. The correlations for settlement coefficient were similar to those of immersion bulk density, but the correlations for field capacity were opposite. Evaporation rate did not show significant correlation, physical parameters and average mass specific surface area did not show significant correlation. In conclusion, organic materials could improve the primary structure of saline alkali soil, the same organic materials of different forms had different effects; in the present study, the granular corn straw treated with crushing, high temperature and pressure had better effects than other treatments and effectively shortened the improvement time.

Keywords: organic material; primary saline alkali land; water-stable aggregate; physical property; scanning electron microscope; fractal dimension

盐碱土作为耕地后备资源,具有盐碱度高、养分含量匮乏、土壤生物活性及丰富度低等特性,导致盐碱地不能直接开发为耕地资源^[1]。近年来,国内外研究盐碱地改良主要集中在改良后土壤的理化性质、养分变化、水盐运移以及团聚体中腐殖质含量等方面^[2-4]。土壤团聚体作为土壤结构重要的指标之一,是指土粒通过各种自然过程的作用而形成的直径 $< 10\text{ mm}$ 的结构单位,是土壤中各形态、粒径、机械稳定和非机械稳定团聚体的总和,对土壤孔隙度、持水性、透气性和抗腐蚀性都有着重要的影响^[5-7],其疏松多孔结构以及稳定性在调节土壤肥力、维持生产力方面有着重要的作用^[8-9]。已有研究表明,不同改良措施对盐碱土团聚体含量和稳定性都有一定积极的影响^[10-12]。但关于同种有机物料不同形态对原生盐碱地水稳性团聚体特征影响的研究较少。

因此,本文以3种不同种类以及其中一种物料的不同形态的有机物料为供试材料,研究了在稻作条件下不同种类和形态的有机物料对原生盐碱地的物理性质、水稳性团聚体的数量、形态、水稳定性和平均质量比表面积以及分形维数的影响,分析了水稳性团聚体各参数与土壤物理性质间的相互关系。旨在阐明不同种类和形态的有机物料对原生盐碱地物理性质以及团聚体结构性和稳定性的影响,为盐碱地改良提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地点位于吉林省大安市海坨乡姜家村向东约

4.21 km处(124°1'48" E, 45°19'47" N),平均海拔130 m,年平均日照3 012.8 h,年平均温度4.3℃,常年有效积温2 921.3℃,无霜期157 d,年降雨量为413.7 mm。试验区面积为1 550 m²,地势平坦。表层土壤基础肥力性状为有机质含量2.91 g/kg,碱解氮11.28 mg/kg,有效磷20.61 mg/kg,速效钾143.33 mg/kg, pH 9.94, 碱度58.31%,可溶盐总量3.39 g/kg,浸水容重1.175 g/cm³,沉降系数为1.826,田间持水量22.78%。

1.2 试验设计

试验于2016年6—10月,以未改良的原生盐碱地为试验样地,在稻作条件下进行,设置颗粒秸秆(KL)、正常秸秆(JG)、牧草(MC)、羊粪(YF)、对照(CK)5个处理,每个处理3次重复,共15个试验小区,随机排列。每个小区面积为30 m² (6 m×5 m),小区四周用土叠埂进行单排单灌,各小区之间保留1 m过道。整地前施入物料和底肥,随后灌水沤田1~2 d,最后进行耙地和插秧,移栽秧苗行株距为当地常规种植标准,每穴5~6株。至移栽后每周换水1次,各小区换水量为8 m³,9月末进入收获期后减少换水次数进行晒田,10月10号收获水稻。

有机物料施入量按照等碳原则计算,以全量还田为标准,KL处理每小区施颗粒秸秆22 kg, JG处理每小区施正常秸秆22 kg, MC处理每小区施牧草30 kg, YF处理每小区施羊粪15 kg, CK处理不施有机物料。其中颗粒秸秆均匀铺洒于小区各处,其他物料由于灌水后漂浮问题,则在各小区挖3条长5 m,宽1

m, 深 20 cm 的沟, 将各有机物料埋入沟内用土掩埋。随后所有处理各小区进行整地, 灌水沤田。各有机物料中, 颗粒秸秆由正常秸秆经过机器粉碎, 高温高压处理, 最后压模出长 2 cm, 直径 0.5 cm 的圆柱形颗粒, 不仅利于运输, 同时也解决了秸秆还入水田后漂浮问题, 秸秆(20 cm)、牧草(5 cm)和羊粪(自然风干, 呈块状)均取自当地。各处理于水稻收获后进行采样, 各个试验小区选取 5 个采样点, 用四分法取混合样测定基本理化性质。同时, 在 0—20 cm 土层中分别取原状土样 1 kg, 用于土壤水稳性团聚体分析。

1.3 测定项目

(1) 浸水容重测定: 称取 100 g 过 2 mm 筛的风干土样放入 300 mL 量筒中, 加水浸泡 2 h 后, 再加水至 250 mL, 经过充分振荡混匀后, 静置, 待上层为澄清液时, 仔细测量下沉土样所占的体积, 风干土壤质量与下沉土样所占体积之比为浸水容重。

(2) 田间持水量采用威尔科克斯法测定^[13]。

(3) 沉降系数测定: 称取 100 g 过 2 mm 筛的风干土样放入 500 mL 的烧杯中, 加水 300 mL 充分搅拌 1 min 后静置, 待出现土水界面时, 记入固相部分的浸水体积 a , 24 h 后在记下固相浸水体积 b , b/a 为沉降系数。

(4) 土壤蒸发量测定: 在室外用环刀取原状土, 带回实验室内。将环刀上盖取下, 上端用滤纸覆盖并用皮筋固定, 固定后将环刀置于水中浸泡 24 h, 同时注意水面始终保持高于环刀 2 mm。24 h 后将环刀取出, 表面擦干称重后将环刀置于 20 °C 恒温箱中, 每隔一段时间测其质量, 24 h 后烘干称其质量。为减少各处理吸水量不同带来的误差, 在绘制蒸发速率曲线时, 以蒸发量所占吸水质量的百分比为纵坐标, 时间为横坐标, 土壤蒸发量百分比 = 蒸发量 / (吸水后质量 - 烘干后质量) × 100。

(5) 团聚体形态结构观察: 将原状土壤沿自然裂缝掰开风干, 选取横断面为 1 mm 的颗粒状样品, 利用 SS550 型号扫描电镜, 在放大 500 倍和 1 000 倍条件下, 分别对各处理的土壤团聚体进行形态和表面特征观察^[14]。

(6) 土壤团聚体测定: 将原状结构土壤风干一定程度后, 沿裂缝掰成小块继续自然风干, 根据沙维诺夫法^[15]进行干筛, 测定不同直径团聚体含量, 根据约得法进行湿筛^[15], 测定土壤水稳性大团聚体的组成。微团聚体组成采用吸管法测定。

1.4 土壤水稳性团聚体评价指标

水稳性大团聚体各粒级含量测定: 通过湿筛法, 测得 >5, 2~5, 1~2, 0.5~1, 0.25~0.5 mm 各粒级水稳性大团聚体含量。微团聚体通过吸管法测得

0.25~0.01, 0.01~0.005, 0.001~0.005, <0.001 mm 各粒级微团聚体含量。

$$\text{平均重量直径}^{[16]}: \text{MWD} = \sum_{i=1}^n X_i W_i$$

式中: MWD 为平均重量直径(mm); X_i 为每一级别团聚体平均直径(mm); W_i 为每一级别团聚体重量(g)。

破坏率(PAD)^[17]: 干筛和湿筛法测得的 >0.25 mm 团聚体含量的差值(%)。

$$\text{水稳系数}: K = \frac{A}{M} \times 100$$

式中: K 为水稳系数; A 为 >0.25 mm 水稳性团聚体总量(g); M 为干筛 >0.25 mm 团聚体总量(g)。

平均质量比表面积: 团聚体平均质量比表面积是基于土壤界面过程思想和平均直径的方法构建的, 它能够作为分析和研究土壤团聚体特征的有效指标^[18]。

$$\text{MWSSA} = \sum_{i=1}^n \frac{6W_i}{2.65d_i}$$

式中: MWSSA 为平均质量比表面积(cm^2/g); d_i 为 2 粒级直径的平均值(cm); W_i 为与 d_i 对应的粒级质量百分比(%)。

分形维数计算公式^[19]为:

$$(3-D) \lg\left(\frac{\bar{d}_i}{d_{\max}}\right) = \lg\left[\frac{W}{W_0}\right]$$

式中: D 为分形维数, 分别以 $\lg\left(\frac{\bar{d}_i}{d_{\max}}\right)$ 和 $\lg\left(\frac{W}{W_0}\right)$ 为横纵坐标做趋势线, 则 $(3-D)$ 为趋势线斜率, 进而求得分形维数 D ; $\bar{d}_i$ 为 2 筛分粒级直径的平均值(mm); W 为小于 d_i 的累积土粒质量(g); W_0 表示土壤各粒级质量的总和; $d_{\max}$ 为最大粒级土粒的平均直径(mm)。

1.5 数据分析

利用 Excel 2016 软件进行数据整理和绘图, 采用 SPSS 18.0 软件对数据进行采用统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对原生盐碱地水稳性团聚组成的影响

由表 1 可知, >0.25 mm 粒径的水稳性团聚体含量, 其中 KL 处理和 YF 处理含量明显高于 CK 处理, MC 处理含量稍高于 CK 处理, 而 JG 处理含量低于 CK 处理, 所有处理中以 KL 处理含量最高, 相比 CK 处理提高了 216.43%, 其次为 YF、MC、CK、JG。不同处理间, JG 处理和 YF 处理与 CK 相比较, >0.5 mm 的各粒径团聚体含量高于 CK, 说明 JG 处理和 YF 处理对凝聚形成 >0.5 mm 粒径的团聚体有促进作用, 而对于凝聚形成 0.25~0.5 mm 粒径的团聚体无明显促进作用。KL 处理与 CK 处理比较, 各粒径含量均高于 CK 处理, 说明 KL 处理对凝聚形成 >0.25 mm 各粒径团聚体具有促进作用。而 MC 处理与 CK 处理各粒径含量相差不大。已有研究表明, 土壤微团聚体能

够明显改善土壤的通气性、渗水性和黏着性^[18]。各有机物料处理的 0.05~0.25 mm 和<0.001 mm 粒级团聚体含量与 CK 相比,各有机物料处理均比 CK 处理含量高。0.001~0.005 mm 粒级团聚体含量与上述结果相反。各处理的 0.01~0.05 mm 粒级团

聚体含量,除 YF 处理外其他有机物料处理均比 CK 处理含量高。各处理的 0.005~0.01 mm 粒级团聚体含量,除 YF 处理含量高于 CK 处理,其他有机物料处理均比 CK 低。各处理团聚体含量主要集中在 0.05~0.25 mm 粒级。

表 1 土壤水稳性团聚体分布特征

处理	>5 mm	2~5 mm	1~2 mm	0.5~1 mm	0.25~0.5 mm	>0.25 mm	0.05~0.25 mm	0.01~0.05 mm	0.005~0.01 mm	0.001~0.005 mm	<0.001 mm
CK	0.63±0.01d	0.37±0.02e	0.61±0.02d	1.00±0.01e	5.12±0.89c	7.73±0.59c	63.35±1.34c	9.94±0.85b	6.24±1.03b	12.15±1.26a	0.18±0.00d
KL	1.03±0.07b	1.16±0.04b	2.38±0.03a	1.99±0.02b	17.90±1.56a	24.46±1.35a	66.87±1.51b	14.97±1.03a	3.17±0.32d	5.46±0.74d	0.90±0.01b
JG	0.83±0.05c	0.42±0.01dc	0.64±0.01c	1.39±0.01c	2.68±0.04e	5.96±0.46d	63.86±0.98c	14.15±0.54a	5.06±0.09c	7.04±1.12c	1.31±0.02a
MC	0.52±0.06e	0.50±0.01c	0.62±0.01d	1.18±0.02d	5.45±0.09b	8.27±1.21c	66.85±1.05b	14.95±0.94a	3.14±0.25d	4.95±0.36d	1.23±0.01a
YF	1.34±0.08a	2.60±0.07a	1.38±0.04b	3.20±0.04a	3.98±0.11d	12.50±1.07b	68.54±0.24a	6.43±0.07c	6.81±0.11a	9.82±0.59b	0.27±0.01c

注:数据为平均值±标准差;同列数据后不同字母表示不同处理间差异达 5%显著水平。下同。

2.2 不同处理对原生盐碱地水稳性团聚体稳定性的影响

由表 2 可知,CK 处理与 JG 处理和 MC 处理的 PAD、水稳系数(K)以及 JG 与 MC 处理的 MWD 指标差异不显著外,其他各处理各指标之间差异显著。MWD 是评价土壤结构好坏的重要指标,数值越大说明土壤平均粒径团聚度越高,结构越稳定^[20],各处理 MWD 大小为 YF>KL>JG>MC>CK。说明不同种类有机物料处理较 CK 处理来说,对水稳性团聚体 MWD 均有提高效果,而就同种有机物料不同形态处理来看,KL 处理较 JG 处理提高了 63.94%,说

明同种有机物料不同形态对 MWD 影响差异显著,本试验中 KL 处理更有利于提高 MWD 值。PAD 和水稳系数能直观的表现出各处理团聚体抗破坏能力,PAD 越小及水稳系数越大,表明团聚体越稳定。从表 2 中可看出,2 种指标都以 KL 处理最好,较 CK 处理 PAD 降低了 20.73%,水稳系数提高了 226.34%。其他处理稳定性表现为 YF>MC>CK>JG。整体来看,各处理以 KL 处理效果最好,表明同种有机物料不同形态对其影响效果不同,本试验设计的该种形态对水稳性团聚体结构的稳定性具有明显的提高作用。

表 2 各处理对 MWD、PAD、水稳系数(K)以及分形维数和 MWSSA 的影响

处理	MWD/mm	PAD/%	K/%	分形维数	MWSSA/(cm ² ·g ⁻¹)
CK	0.175±0.01d	92.041±1.87ab	7.82±0.85cd	2.971±0.002b	78.66±3.32e
KL	0.341±0.01b	72.954±1.63d	25.52±1.63a	2.894±0.001e	189.36±4.56b
JG	0.208±0.02c	93.299±3.41a	6.26±0.32d	2.978±0.002a	213.18±8.97a
MC	0.200±0.01c	91.224±1.28b	8.23±0.12c	2.968±0.001c	127.46±6.21c
YF	0.357±0.03a	86.869±2.36c	12.98±0.61b	2.958±0.001d	111.65±5.34d

2.3 不同处理对原生盐碱地水稳性团聚体形态的影响

运用 SEM 即扫描电子显微镜观察各处理土壤团聚体形态和表面特征(图 1)。团聚体整体形态以圆润多孔的好,有菱角而致密的不好;表面以粗糙及多孔的好,光滑和致密的不好。由图 1 可知,各有机物料处理的团聚体整体形态与 CK 处理具有明显差异。CK 处理的团聚体凝聚度低,形态不一,细小的团聚体占大多数且紧密相连,大小孔隙分布不均。进一步放大可以看出大多数团粒表面光滑少孔。KL 处理的团聚体凝聚度比 CK 高,形态多样以球状为主,不同直径的团聚体均有分布,大小孔隙分布适中,表面粗糙但孔隙较少。JG 处理的团聚体凝聚度较高,整体形态圆润,表面粗糙多孔。MC 处理和 YF 处理,凝聚度高,其形态较为接近,以块状为主,团聚

体之间较为紧密,但 MC 处理其表面比 YF 处理的团聚体表面更加粗糙多孔。各处理团粒形态优劣不一,综合表现为 KL 处理最好,CK 最不好。说明不同有机物料对团聚体形态改变效果有所差异,本试验中同种有机物料不同形态的 KL 处理对团聚体形态具有明显整体改善作用。

2.4 不同处理对原生盐碱地水稳性团聚体分形维数和平均质量比表面积的影响

Hessen^[21]和龚伟等^[22]研究表明,分形维数能反应土壤水稳性团聚体含量对土壤结构和稳定的影响,数值越大表明土壤质地越细,数值越小表明土壤越稳定。由表 2 可知,KL 处理的分形维数最小,且与其他处理差异显著,而其他处理之间差异不显著。这说明,不同有机物料处理对水稳性团聚体分形维数影响

不大。但在本试验中,经过改变形态后的有机物料 KL 处理能明显降低分形维数,较 CK 处理降低了 2.62%。平均质量比表面积(MWSSA)是体现团聚体外界面变化的趋势指标。CK 处理 MWSSA 与其他各处理之间差异显著,各处理表现为 JG>KL>MC>YF>CK,与 CK 处理相比较,各处理平均质量比表面积增加幅度在 41.94%~171.01%之间。说明不同有机物料均能增加水稳性团聚体的平均质量比表面积,但效果有所差别,同种有机物料不同形态对其影响差别不大。

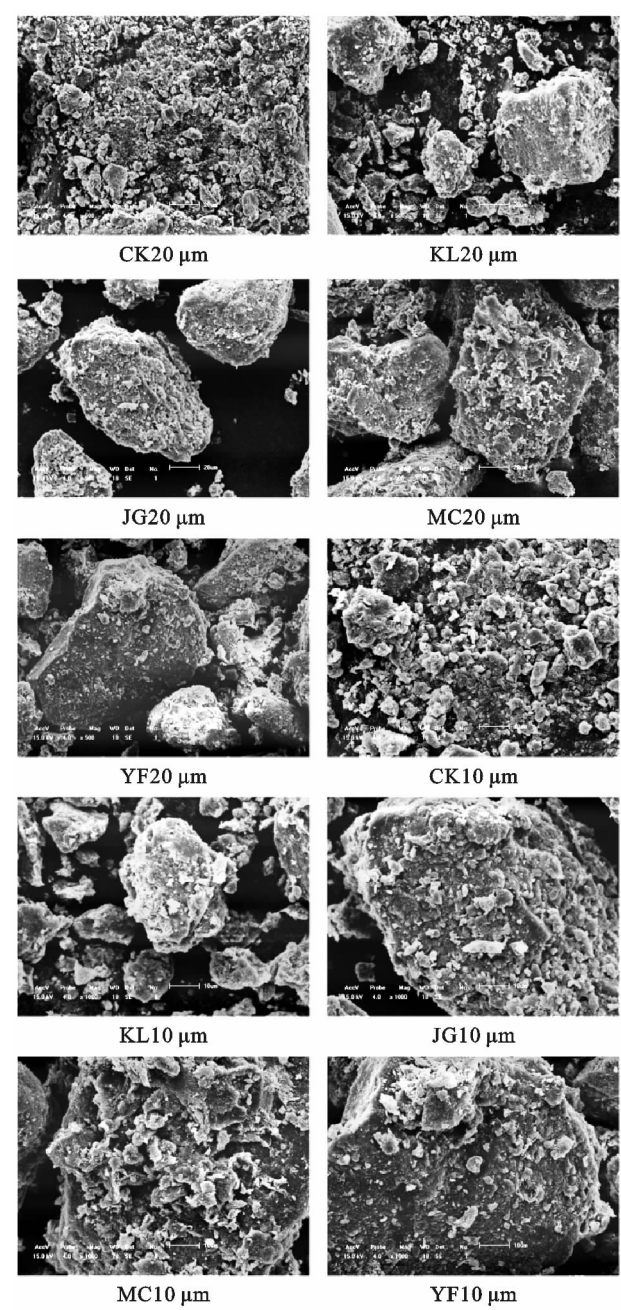


图 1 各处理土壤团聚体形态和表面特征

2.5 不同处理对原生盐碱地土壤物理性质影响以及与水稳性团聚体参数相关性

由表 3 可知,各处理土壤浸水容重、沉降系数以及田间持水量差异显著。浸水容重可以反映泡水情况下

土壤起浆、淀浆,板结等特性,常用来判断水田的结构性能,其最适范围为 0.5~0.6 g/cm³。浸水容重过大,则土粒沉降快且较实,不易插秧和根分蘖,浸水容重过小,则插秧后易飘秧。所有处理比改良前的浸水容重都更接近最适范围。相比 CK 处理,各有机物料处理更接近最适范围,其中以 KL 处理最好,其次为 JG、MC、YF。沉降系数是评价土壤淹水后结构性指标,对淹水后插秧时间有所影响,其数值越接近 1 越好。所有处理的沉降系数均比改良前更接近 1,且有机物料处理比 CK 处理要更加接近,其中以 KL 处理最好,其次为 MC、JG、YF。田间持水量即土壤毛细管悬着水达到最大含量时的持水量,与土壤结构有密切关系。各处理较改良前田间持水量都有所增加,表现为 KL>JG>MC>YF>CK,比改良前分别提高了 54.57%,45.39%,44.92%,35.95%,14.91%。

表 3 土壤浸水容重、沉降系数和田间持水量

处理	浸水容重/ (g·cm ⁻³)	沉降 系数	田间 持水量/%
CK	0.954±0.06a	1.756±0.12a	24.69±1.31d
KL	0.706±0.02d	1.365±0.16c	29.76±2.12a
JG	0.796±0.03c	1.455±0.11b	28.59±1.63b
MC	0.815±0.02b	1.376±0.17c	28.53±2.25b
YF	0.820±0.01b	1.457±0.08b	27.38±1.33c

由图 2 可知,相同条件下,蒸发速率越大,盐分越容易积累,蒸发速率越小,盐分越不容易积累。在前 4 h 里,各处理蒸发速率百分比均有所降低,其中以 KL 处理降低幅度最大,达到 64.16%,其他处理降低幅度在 14.86%~25.76%。随后各处理蒸发速率百分比小幅度上升,13 h 候后趋于稳定,表现为 JG<KL<YF<MC<CK。在后期 JG 处理与 KL 处理蒸发速率百分比接近,无显著差异,YF 处理与 MC 处理无明显差异,但各有机物料处理与 CK 具有显著差异($p<0.05$)。

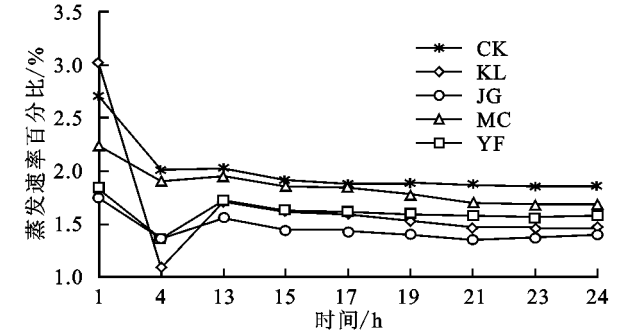


图 2 不同处理蒸发速率百分比

综合来看,KL 处理较其他处理针对上述物理性质具有明显的改良作用,而不同种类有机物料中,以 JG 处理最好。说明不同种类有机物料对原生盐碱地物理性状均具有积极的改良作用,同种有机物料经过

粉碎高温高压改变形态后,能够明显提高改良效果。

由表 4 可知,浸水容重与 PAD 和分形维数具有显著的正相关性,与水稳系数和平均重量直径呈现显著负相关性。沉降系数与各指标相关性类似浸水容重,而田间持水量刚好相反。蒸发速率与各指标则未显示出显著相关性,各物理参数与 MWSSA 也未显示出显著相关性。

表 4 土壤团聚体参数与原生盐碱地物理参数相关性					
相关因子	PAD	水稳系数	分形维数	平均重量直径	MWSSA
浸水容重	0.709 **	-0.695 *	0.697 *	-0.783 **	-0.463
田间持水量	-0.545 *	0.525 *	-0.543 *	0.811 **	0.253
沉降系数	0.453 *	-0.438 *	0.434 *	-0.634 *	-0.272
蒸发速率	-0.149	0.148	-0.123	-0.082	-0.067

注: ** 表示极显著相关($p<0.01$); * 表示显著相关($p<0.05$)。

3 讨论

从本研究试验结果来看,各有机物料的施入对原生盐碱地物理性质以及水稳性团聚体特征都有明显的改善作用,这与赵亮等^[12]研究结果一致。浸水容重和沉降系数直接影响水稻插秧和插秧后的生长发育,而水稻在生长发育中又会对原生盐碱土壤有一定的改良作用。田间持水量与蒸发速率主要影响着原生盐碱地积盐的行为,田间持水量高意味着蒸发速率低,水分蒸发的少从而减少了由于水分蒸发导致可溶盐析出量。有机物料施入原生盐碱地后,能够促进浸水容重和沉降系数达到最适范围,增加了田间持水量,降低了土壤水分蒸发速率。这可能是因为,有机物料施入后,经过 1 年的腐解,本身形成疏松多孔的结构,增加了土壤孔隙度和吸附能力,其形态也较其他有机物料更加接近土壤形态,促进了土壤团聚体的凝聚^[23],从而使得浸水容重和沉降系数改善。同时有机物料腐解后表面氧化基团以及羧基增加,与土壤团粒结合后能够增强其保水效应^[24],从而提高了原生盐碱地的田间持水量,降低了水分的蒸发速率。

土壤结构的好坏主要受土壤团聚体数量、稳定性以及形态的影响,而水稳性团聚体的数量和分布状况更是反映了土壤结构保水性、稳定性和抗侵蚀能力^[3]。本研究表明,有机物料处理与 CK 相比,KL 处理除 0.005~0.01 mm 粒级含量低于 CK,其他各粒级团聚体数量均明显增加,其团聚体形态整体圆润,表面粗糙,团聚体之间孔径适中,对于 MWD,PAD,水稳系数也有明显的改善作用,其他处理也有不同程度的改善,与龙攀等^[25]的研究结果一致。大量研究表明,土壤有机碳含量越高,越有利于土壤团聚体数量的增加,促进土壤水稳性团聚体的形成^[26-28]。有机物料施入后能够分解产生有机碳,有机碳能够作为胶

结物质有利于土壤团聚体形成,同时有机物料能够作为土壤动物和微生物的食物和能量来源,提高了土壤生物丰富度和活性,从而间接的促进了水稳性团聚体的形成和稳定性^[29]。对于平均质量比表面积,王展等^[20]研究表明团聚体的平均质量直径越大,颗粒就越大,而平均质量比表面积就越小的结论,这与本试验结果不同。通过 SEM 观察分析,原因可能是不同处理的团聚体其形态不一,JG 处理较其他处理的团聚体形态更加圆润,表面粗糙多孔,且<0.25 mm 的微团聚体含量高于其他处理,从而导致该结果。分形维数是描述土壤团聚体特征的新型综合指标^[10]。本研究表明,KL 处理能有效降低分形维数,其他处理效果不显著,可能原因在于秸秆、牧草和羊粪的施入只对原生盐碱土部分性状具有明显改良效果,而经过粉碎高温高压处理后的颗粒秸秆经过灌溉 runoff 后,吸水膨胀形成疏松多孔的结构。一方面,对原生盐碱地的物理性质的改善具有直接作用。另一方面,疏松多孔的结构是其他处理所不具备的,这也正好弥补了其他有机物料处理的缺陷。

4 结论

(1)各有机物料处理的水稳性团聚体组成以微团聚体占主要成分,而微团聚体中以 0.05~0.25 mm 粒径为主,不同有机物料处理对各粒级含量影响差异显著。各有机物料处理的水稳性团聚体的稳定性相对 CK 处理均有所提高,其中 KL 处理在水稳系数,PDA 和分形维数方面效果最好,YF 处理在 MWD 方面效果最好。

(2)通过扫描电镜观察各处理的水稳性团聚体形态。各处理中以 KL 处理改善效果最好。各处理的平均质量比表面积差异显著,其中以 JG 处理的平均质量比表面积最大。

(3)各有机物料处理与 CK 处理相比,对原生盐碱土物理性质均有改善作用,以 KL 处理整体效果最好。浸水容重与 PAD 和分形维数具有显著正相关性,与水稳系数和平均重量直径呈显著负相关性。沉降系数相关性类似浸水容重,田间持水量相反。蒸发速率则未显示出显著相关性,各物理参数与平均质量比表面积也未显示出显著相关性。

(4)不同种类有机物料能够改善原生盐碱土壤结构,同种有机物料不同形态作用效果不同,经过粉碎高温高压处理的颗粒秸秆改良效果好于其他处理,有效缩短了改良时间。

参考文献:

[1] 介明. 盐碱地的危害与改良研究[J]. 绿色科技, 2016 (7):122,124.

[2] Udom B E, Nuga B O, Adesodun J K. Water-stable ag-

- gregates and aggregate-associated organic carbon and nitrogen after three annual applications of poultry manure and spent mushroom wastes[J]. *Applied Soil Ecology*, 2016, 101(5): 5-10.
- [3] Yang Y N, Sheng Q, Zhang L, et al. Desalination of saline farmland drainage water through wetland plants[J]. *Agricultural Water Management*, 2015, 156(7): 19-29.
- [4] 孙博,解建仓,汪妮,等. 芦苇对盐碱地盐分富集及改良效应的影响[J]. *水土保持学报*, 2012, 26(3): 92-96.
- [5] 王卫超,冯欢,王巍琦,等. 开垦对盐渍化弃耕地土壤团聚体含量及稳定性的影响[J]. *土壤通报*, 2016(2): 327-333.
- [6] 吕文星,张洪江,王伟,等. 重庆四面山不同林地土壤团聚体特征[J]. *水土保持学报*, 2010, 24(4): 192-197.
- [7] 于建光,胡锋,李辉信,等. 接种蚯蚓对土壤团聚体分布、稳定性及有机碳赋存的影响[J]. *水土保持学报*, 2010, 24(3): 175-179.
- [8] 安婉丽,高灯州,潘婷,等. 水稻秸秆还田对福州平原稻田土壤水稳性团聚体分布及稳定性影响[J]. *环境科学学报*, 2016, 36(5): 1833-1840.
- [9] 谢贤健,张继. 巨桉人工林下土壤团聚体稳定性及分形特征[J]. *水土保持学报*, 2012, 26(6): 175-179.
- [10] 谭煌,杨培岭,任树梅,等. 脱硫副产物配合淋洗对碱化土壤团聚体含量的影响[J]. *中国农业科学*, 2016, 49(4): 705-716.
- [11] 王双磊. 棉花秸秆还田对盐碱地棉田土壤理化性质和生物学特性的影响[D]. 山东 泰安: 山东农业大学, 2015.
- [12] 赵亮,刘存寿. 不同有机物料对土壤肥力及团聚体稳定性的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2013, 41(2): 130-136.
- [13] 颜永毫,郑纪勇,张兴昌,等. 生物炭添加对黄土高原典型土壤田间持水量的影响[J]. *水土保持学报*, 2013, 27(4): 120-124.
- [14] 何毓蓉,徐祥明,刘黎. 西南地区水耕人为土诊断层土壤特性及 SEM 特征[J]. *山地学报*, 2009, 27(6): 727-734.
- [15] 刘孝义. 土壤物理及土壤改良研究法[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1982.
- [16] 杨宁,邹冬生,付美云,等. 紫色土丘陵坡地恢复中土壤团聚体特征及其与土壤性质的关系[J]. *生态学杂志*, 2016, 35(9): 2361-2368.
- [17] 邵明安. 土壤物理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [18] 王展,张玉龙,虞娜,等. 冻融作用对土壤微团聚体特征及分形维数的影响[J]. *土壤学报*, 2013, 50(1): 83-88.
- [19] 杨培岭,罗远培. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征[J]. *科学通报*, 1993, 38(20): 1896-1899.
- [20] 朱秋丽,曾冬萍,王纯,等. 废弃物施加对福州平原稻田土壤团聚体分布及其稳定性的影响[J]. *环境科学学报*, 2016, 36(8): 3000-3008.
- [21] Hessen D O. Carbon sequestration in ecosystems[J]. *Ecology*, 2008, 85(5): 1179-1192.
- [22] 龚伟,颜晓元,蔡祖聪,等. 长期施肥对小麦—玉米轮作土壤微团聚体组成和分形特征的影响[J]. *土壤学报*, 2011, 48(6): 1141-1148.
- [23] 曹莹菲. 腐解过程中还田秸秆和土壤有机酸、质能及结构变化特征[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [24] 詹其厚,袁朝良,张效朴. 有机物料对砂姜黑土的改良效应及其机制[J]. *土壤学报*, 2003, 40(3): 420-425.
- [25] 龙攀,高旺盛,隋鹏,等. 农业废弃物还田对土壤团聚体及土壤 C 和 N 的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2014, 19(6): 107-118.
- [26] 张家春,刘盈盈,贺红早,等. 土壤团聚体与有机碳固定关系研究进展[J]. *福建农业学报*, 2016, 31(3): 319-325.
- [27] Smith R, Tongway D, Tighe M, et al. When does organic carbon induce aggregate stability in vertosols? [J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2015, 201(3): 92-100.
- [28] Briedis C, Sá J C D M, Caires E F, et al. Soil organic matter pools and carbon-protection mechanisms in aggregate classes influenced by surface liming in a no-till system[J]. *Geoderma*, 2012, 170(1): 80-88.
- [29] 成艳红,武琳,孙慧娟,等. 稻草覆盖和香根草篱对红壤水稳性团聚体组成及有机碳含量的影响[J]. *生态学报*, 2016, 36(12): 3518-3524.