

洪立洲, 邢锦城, 乔干群, 等. 滨海盐碱地绿肥粉垄耕作耦合对土壤有机碳积累及组分的影响[J]. 江苏农业学报, 2025, 41(1): 61-67.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2025.01.008

滨海盐碱地绿肥粉垄耕作耦合对土壤有机碳积累及组分的影响

洪立洲¹, 邢锦城¹, 乔干群², 刘冲¹, 张振华¹, 郁凯¹, 董静¹, 朱小梅¹, 陈环宇¹, 王同³

(1.江苏沿海地区农业科学研究所, 江苏盐城 224002; 2.盐城市农业水利发展投资集团有限公司, 江苏盐城 224002; 3.江苏省农业科学院中心实验室, 江苏南京 210095)

摘要: 为了明确绿肥粉垄耕作耦合对改良盐碱地的作用, 本研究采用田间试验探索了滨海盐碱地绿肥粉垄耕作耦合对土壤有机碳积累及组分的影响。小区试验设置了 6 个处理: 裸地+免耕(CK), 裸地+常规耕作 15 cm 深(T1), 裸地+粉垄耕作 30 cm 深(T2), 种植苕子并离田+常规耕作 15 cm 深(T3), 种植苕子并还田+常规耕作翻压 15 cm 深(T4), 种植苕子并还田+粉垄耕作 30 cm 深(T5)。通过采集种植一季玉米后 0~20 cm 土壤样品, 测定了土壤样品基本理化性状, 分析了水稳性团聚体、团聚体有机碳的变化, 土壤有机碳积累及组分的变化特征。结果表明, 与 CK 相比, 种植绿肥并翻压可显著促进盐碱地土壤有机碳的积累, 提高土壤有机碳含量, 改善土壤有机碳组成。与 CK 相比, T5 处理土壤容重明显降低, 土壤碱解氮含量、有机质含量、有机碳含量及有机碳储量均显著提高, 其中, 土壤有机碳含量提高幅度达到 32.9%; 土壤可溶性有机碳含量、易氧化有机碳含量、微生物生物量碳含量显著提高; >2.000 mm、0.251~2.000 mm 粒级土壤团聚体重量百分数提高, 而 0.050~0.250 mm、<0.050 mm 粒级土壤团聚体重量百分数降低。T5 处理提高了水稳性团聚体中有机碳含量及团聚体中有机碳贡献率。由此可见绿肥粉垄耕作耦合可以显著提高滨海盐碱地土壤有机碳及活性组分含量, 有效提升土壤水稳性大团聚体比例以及土壤团聚体中有机碳含量及其有机碳贡献率。因此, 该耕作方式在滨海盐碱地上推广应用, 可促进土壤有机碳的积累, 从而达到改善滨海盐碱地土壤碳封存, 提高滨海盐碱地土壤耕地质量的目的。

关键词: 滨海盐碱地; 绿肥粉垄耕作耦合; 有机碳; 土壤团聚体

中图分类号: S156.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2025)01-0061-07

Effects of green manure and smash ridging coupling on soil organic carbon accumulation and composition in coastal saline alkali land

HONG Lizhou¹, XING Jincheng¹, QIAO Ganqun², LIU Chong¹, ZHANG Zhenhua¹, YU Kai¹, DONG Jing¹, ZHU Xiaomei¹, CHEN Huanyu¹, WANG Tong³

(1. Institute of Agricultural Sciences in the Coastal District of Jiangsu Province, Yancheng 224002, China; 2. Yancheng Agricultural Water Conservancy Development Investment Group Co., Ltd., Yancheng 224002, China; 3. Central Laboratory, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210095, China)

Abstract: In order to clarify the role of green manure and smash ridging coupling in improving saline-alkali soil, a field experiment was conducted to investigate the effects of green manure and smash ridging coupling on soil organic carbon accumulation and composition in the coastal saline-alkali soil. Six treatments were set up: bare land + no tillage (CK), bare land + conventional tillage 15 cm (T1), bare land + smash ridging tillage 30 cm (T2),

收稿日期: 2024-07-15

基金项目: 江苏省碳达峰碳中和科技创新专项资金项目(BE2022304)

作者简介: 洪立洲(1968-), 男, 江苏盐城人, 本科, 研究员, 主要从事土壤肥料与盐土农业工程研究。(E-mail) ychonglz@163.com

planting hairy vetch and removing them from the field + conventional tillage 15 cm (T3), planting hairy vetch and returning them to the field + conventional tillage 15 cm (T4), planting hairy vetch and returning them to the field + smash ridging tillage 30 cm (T5). The basic physical and chemical properties were determined by collecting soil samples from 0–20 cm soil layer after planting one season of corn. The water stable aggregates, and changes in aggregate organic carbon and characteristics of soil organic carbon accumulation and composition were analyzed. The results showed that compared with the CK, planting hairy vetch and turning over could significantly promote the accumulation of organic carbon, increase soil organic carbon content, and improve soil organic carbon composition in saline-alkali soil. Compared with the CK, the soil bulk density of T5 treatment was significantly reduced, and soil alkaline nitrogen content, organic matter content, organic carbon content and organic carbon storage were significantly increased. Among them, the soil organic carbon content was increased by 32.9%. Soil soluble organic carbon content, readily oxidizable organic carbon content and microbial biomass carbon content were significantly increased. Moreover, the weight percentage of > 2.000 mm and 0.251–2.000 mm soil aggregates increased, while the weight percentage of 0.050–0.250 mm and < 0.050 mm soil aggregates decreased. T5 treatment increased the content of organic carbon in water-stable aggregates and the contribution rate of organic carbon in aggregates. It can be seen that the coupling of green manure and smash ridging tillage can significantly increase the content of soil organic carbon and active components in coastal saline-alkali land, effectively increase the proportion of soil water-stable macroaggregates and the content of organic carbon in soil aggregates and the contribution rate of organic carbon. Therefore, the promotion and application of this tillage method in coastal saline-alkali land can promote the accumulation of soil organic carbon, so as to improve the soil carbon sequestration in coastal saline-alkali land and enhance the quality of cultivated land.

Key words: coastal saline-alkali land; green manure and smash ridging coupling; organic carbon; soil aggregates

中国苏北滨海盐碱地面积广,海涂面积占全国海涂面积的 1/4 以上。由于自然因素和人为因素,盐碱地面积仍在不断扩大,因此,滨海盐碱地便成了重要的后备土地资源^[1]。滨海盐碱地土壤盐分含量较高、养分含量较低以及物理结构较差,难以维持作物正常生长发育需要。绿肥含有 15%~20% 的有机物,种植绿肥并翻压还田可显著提高有机物进入土壤并形成有机质的速率。绿肥翻压还田后,在土壤微生物的代谢作用下形成腐殖质,大量腐殖质的形成可有效提高土壤养分之间的转化速率,有效促进土壤有机质的矿化分解,土壤大团聚体结构也随之形成,土壤保肥供肥能力显著增强^[2-3]。

苕子是一种传统的绿肥作物,为豆科野豌豆属草本植物,具有生长迅速、繁殖能力强、耐旱耐寒等特点,适宜在较为恶劣的盐碱地上种植,被誉为“盐碱地的绿化利器”。相关研究结果表明,在盐碱地种植苕子并耕翻入土,盐碱土壤的物理性状能得到显著改善,土壤有机质、全氮、有效磷和速效钾含量均得到显著提升^[4]。

粉垄耕作技术是一种新型的耕作方法。该方法主要利用特殊机械垂直螺旋型钻头,按照土壤组成特点、作物种植需求,将不同深度的土壤旋磨粉碎并自然悬浮成垄,一次作业即可完成深耕松土与整地等工序,可有效改善不同类型土壤耕层物理结构,进

而促进作物生长^[5]。研究发现,粉垄耕作改良盐碱地具有显著优势。粉垄耕作改善了盐碱地土壤的物理结构,土壤大团聚体结构比例增加,土壤盐分得以有效调控,进而土壤表层盐分含量显著下降,使作物可以正常生长,农作物产量和经济效益得以提高^[6]。

绿肥粉垄耦合是利用粉垄耕作技术将绿肥翻压还田,同时深耕松土,使土壤膨松成垄的新型种植模式。该模式可耦合绿肥固氮、固碳特性及粉垄耕作改善土壤物理结构的双重效应,从而使耕作层土壤的各级活性物质,尤其是有机碳得到有效运移,土壤耕作潜力显著提高,耕地质量有效提升^[7]。

土壤有机碳含量是土壤质量及肥力的核心要素,能够表征土壤质量及变化趋势。土壤有机碳组分众多,这些组分在土壤中的功能和作用各不相同,对土壤肥力和生态系统功能有着重要影响。其中,土壤可溶性有机碳(DOC)、易氧化有机碳(EOC)和微生物生物量碳(MBC)可以在较短时间内敏感地反映出土壤碳的变化,因此,常作为改善土壤质量以及维护土壤碳平衡的主要表征指标^[8-9]。目前,有关绿肥粉垄耦合耕作的研究还不多,尤其是盐碱地上绿肥粉垄耦合耕作对土壤有机碳组分的影响还鲜有报道,因此,本试验以苕子为绿肥,在苏北滨海盐碱地上进行粉垄耕作处理,研究绿肥粉垄耦合对土壤

有机碳积累及组分的影响,以期为提升苏北滨海盐碱地土壤碳“汇”能力,实现碳中和,提高滨海盐碱地土壤质量提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料与耕作方法

以苕子种子作为供试材料。常规耕作处理采用拖拉机带犁耕翻,耕作深度为 15 cm,翻耕后采用旋耕机打碎大土块后进行播种;粉垄耕作处理采用粉垄机械进行田间作业,粉垄机械使用立式螺旋形旋削刀具入土 30 cm 深,一次性全耕层切割粉碎土壤,

深耕松土,使之膨松成垄,成垄后直接播种。

1.2 试验地点及试验设计

试验地点位于江苏省沿海滩涂农业工程技术研究中心(地理位置 32°59'N,120°49'E)。试验共设置 6 个处理:裸地+免耕作为对照(CK),裸地+常规耕作 15 cm 深(T1),裸地+粉垄耕作 30 cm 深(T2),种植苕子并离田+常规耕作 15 cm 深(T3),种植苕子并还田+常规耕作翻压 15 cm 深(T4),种植苕子并还田+粉垄耕作 30 cm 深(T5)。每个处理重复 3 次,小区面积为 9 m×8 m,试验小区随机区组排列。供试土壤为轻质沙壤土,土壤基本理化性质见表 1。

表 1 供试地块土壤基本理化性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of soil in the experimental plot

土壤深度 (cm)	土壤 pH 值	水溶性总盐含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	有机质含量 (%)
0~20	8.49	2.12	1.05	50.92	12.72	90.92	1.41

苕子在 2022 年 12 月上旬播种。采用条播方式,苕子播种量为:60 kg/hm²。2023 年 5 月 15 日将苕子按不同处理分别进行离田、常规耕作翻压和粉垄耕作翻压,2023 年 5 月 19 日种植玉米。2023 年 11 月 19 日玉米收获后,采用 S 形五点取样法采集每个试验小区 0~20 cm 表层土壤样品。为防止土壤样品被搅动及挤压,采集后的土壤样品直接分成直径 5 cm 左右的土块,并剔除植物残渣,以备后续用于各项指标的测定。

1.3 测定项目和方法

采用环刀法测定土壤容重,重铬酸钾氧化-外加热法测定土壤有机质含量,碱解-扩散法测定土壤碱解氮含量。此外,土壤速效磷含量和有效钾含量采用朱小梅等^[10]的方法测定。土壤有机碳(SOC)含量、易氧化有机碳(EOC)含量、可溶性有机碳(DOC)含量、微生物生物量碳(MBC)含量测定采用张穗粒等^[11]的方法。土壤水稳性团聚体测定采用湿筛法:采集土壤样品,依据纹理掰成边长约 2 cm 的土块,称取 50 g 土壤样品至土壤团粒分析仪,土壤粒级分为 4 个层次,即>2.000 mm、0.251~2.000 mm、0.050~0.250 mm、<0.050 mm^[12],团聚体有机碳对土壤有机碳的贡献率计算采用白怡婧等^[13]的方法。

1.4 数据分析

土壤总有机碳储量通过下式计算:

$$SOCS=C \times BD \times D \times 10^{-2}$$

式中:SOCS 为总有机碳储量(kg/m²);C 为土壤有机碳含量(g/kg);BD 为土壤容重(g/cm³);D 为土壤深度(cm)^[14]。

运用 SPSS 22.0 软件进行数据处理、统计及相关性分析,应用 Duncan's 法进行多重性比较。

2 结果与分析

2.1 绿肥粉垄耕作耦合对滨海盐碱地土壤容重和养分含量的影响

从表 2 可以看出,与 CK 相比,绿肥粉垄耕作耦合(T5)处理土壤容重下降了 10.4%,碱解氮含量提高了 6.4%,有机质含量提高了 32.9%。与 T4 处理相比,T5 处理土壤碱解氮含量、有机质含量、有机碳含量和有机碳储量显著提高。与 T4 处理相比,T5 处理土壤碱解氮含量提高了 1.9%,有机质含量提高了 12.5%。在裸地上进行免耕作业(CK)、常规耕作(T1)、粉垄耕作(T2),处理间土壤有机碳含量及有机碳储量无显著差异;而种植苕子并翻压(T4 和 T5),土壤有机碳含量及有机碳储量显著提高。与 CK 相比,T4 处理土壤有机碳含量、土壤有机碳储量分别提高了 18.2%、10.4%,T5 处理土壤有机碳含量、土壤有机碳储量提高了 32.9%、24.5%。可见,绿肥粉垄耕作耦合可较大幅度提高滨海盐碱地土壤有机碳含量及有机碳储量。

表 2 绿肥粉垄耕作耦合对滨海盐碱地土壤基本理化性状及养分含量的影响

Table 2 Effects of green manure and smash ridging coupling on basic physical and chemical properties and nutrient content of coastal saline alkali soil

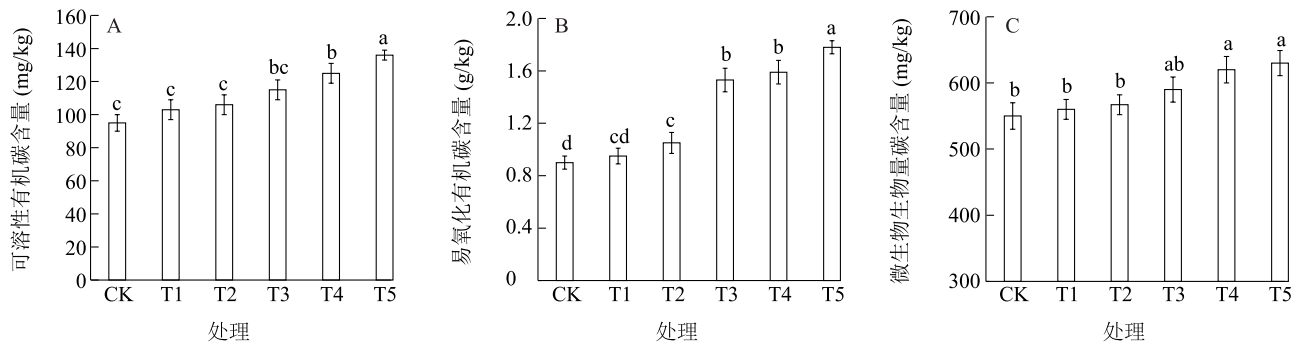
处理	土壤容重 (g/cm ³)	碱解氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	有机质含量 (%)	有机碳含量 (g/kg)	有机碳储量 (kg/m ²)
裸地+免耕(CK)	1.44±0.02a	89.92±2.12c	10.72±2.14a	96.52±1.02a	1.49±0.03d	8.64±0.12d	2.49±0.02c
裸地+常规耕作(T1)	1.43±0.01a	89.62±2.24c	10.83±1.96a	97.22±0.96a	1.52±0.02d	8.82±0.14d	2.52±0.01c
裸地+粉垄耕作(T2)	1.39±0.02ab	90.31±1.36c	10.83±1.97a	96.91±1.41a	1.56±0.03d	9.05±0.14d	2.52±0.02c
种植苕子离田+常规耕作(T3)	1.38±0.02ab	92.33±1.02bc	10.95±2.21a	95.93±0.98a	1.69±0.02c	9.80±0.22c	2.71±0.0bc
种植苕子还田+常规耕作(T4)	1.35±0.01bc	93.92±1.22b	10.92±2.14a	97.65±1.23a	1.76±0.02b	10.21±0.32b	2.75±0.08b
种植苕子还田+粉垄耕作(T5)	1.29±0.03c	95.66±1.56a	10.99±1.89a	97.92±0.97a	1.98±0.04a	11.48±0.21a	3.10±0.02a

同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

2.2 绿肥粉垄耕作耦合对滨海盐碱地土壤有机碳组分的影响

由图 1A 所示,绿肥粉垄耕作耦合处理(T5)土壤 DOC 含量显著高于其他处理。CK 以及 T1、T2、T3 处理土壤 DOC 含量差异不显著;T4 处理土壤 DOC 含量比 CK 提高了 31.6%;T5 处理土壤 DOC 含量比 CK 提高了 43.1%。由图 1B 所示,与其他处理相比,绿肥粉垄耕作耦合处理(T5)可显著提高土

壤 EOC 含量。与 CK 相比,T1 处理土壤 EOC 含量变化不显著,T2 处理土壤 EOC 含量显著高于 CK;T4 处理土壤 EOC 含量比 CK 提高了 76.6%;T5 处理土壤 EOC 含量比 CK 提高了 97.7%。由图 1C 所示,CK 以及 T1、T2 处理土壤 MBC 含量差异不显著;种植苕子并进行翻压,MBC 含量开始提高,T4 处理土壤 MBC 含量比 CK 提高了 12.7%,T5 处理土壤 MBC 含量比 CK 提高了 14.5%。



A:各处理土壤中可溶性有机碳含量,B:各处理土壤中易氧化有机碳含量,C:各处理土壤中微生物生物量碳含量;CK:裸地+免耕对照,T1:裸地+常规耕作 15 cm 深,T2:裸地+粉垄耕作 30 cm 深,T3 种植苕子并离田+常规耕作 15 cm 深,T4:种植苕子并还田+常规耕作翻压 15 cm 深,T5:种植苕子并还田+粉垄耕作 30 cm 深;图柱上不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

图 1 绿肥粉垄耕作耦合对滨海盐碱地土壤有机碳组分的影响

Fig.1 Effects of green manure and smash ridging coupling on organic carbon composition of soil in coastal saline alkali land

2.3 绿肥粉垄耕作耦合对盐碱地土壤水稳性团聚体组成的影响

由图 2 所示,与 CK 相比,在滨海盐碱地裸地上进行常规耕作(T1)、粉垄耕作(T2),土壤中的>2.000 mm、0.251~2.000 mm 粒级土壤团聚体重量百分数提高,0.050~0.250 mm、<0.050 mm 粒级的团聚体重量百分数降低;T4 处理下,>2.000 mm 粒级土壤团聚体重量百分数比

CK 处理提高 130.3%,<0.050 mm 粒级土壤团聚体重量百分数比 CK 处理降低 29.9%;T5 处理,>2.000 mm 粒级土壤团聚体重量百分数比 CK 提高 156.1%,但是<0.050 mm 粒级土壤团聚体重量百分数比 CK 降低 36.6%。由此可见,T5 处理盐碱地土壤水稳性团聚体组成显著优于 T4 处理。因此,绿肥粉垄耕作耦合有助于滨海盐碱地土壤大团聚体结构的改善。

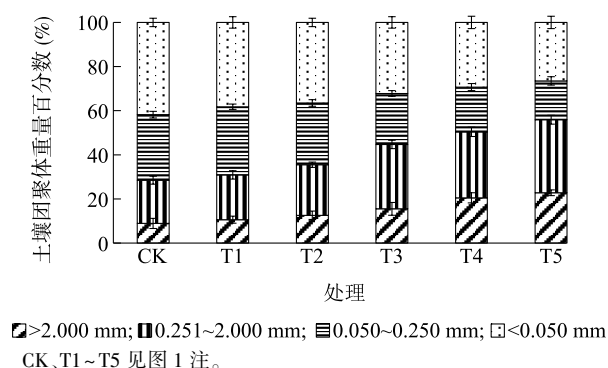
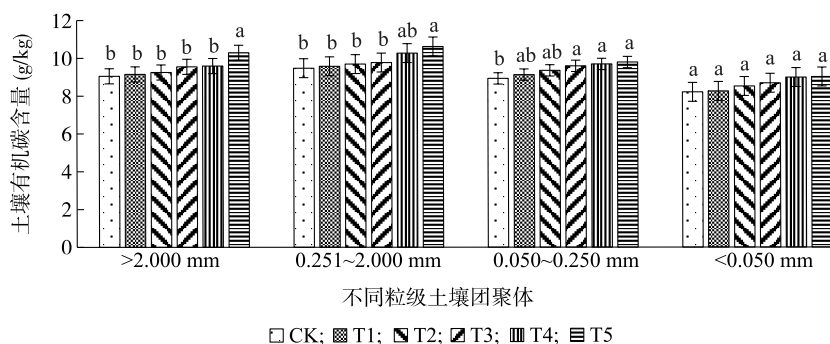


图 2 绿肥粉垄耕作耦合对滨海盐碱地土壤水稳性团聚体组成的影响

Fig.2 Effects of green manure and smash ridging coupling on the composition of water stable aggregates in coastal saline alkali soil



CK、T1~T5 见图 1 注。

图 3 绿肥粉垄耕作耦合对滨海盐碱地土壤不同粒级团聚体中有机碳分布的影响

Fig.3 Effects of green manure and smash ridging coupling on the distribution of organic carbon in different soil aggregate fractions in coastal saline alkali land

2.5 绿肥粉垄耕作耦合对滨海盐碱地土壤各粒级水稳性团聚体中有机碳贡献率的影响

由图 4 所示,CK 以及 T1、T2 处理间土壤各粒级水稳性团聚体中有机碳贡献率差异不明显。T4 处理, >2.000 mm、0.251~2.000 mm 团聚体中有机碳贡献率为 19.2%、30.1%; T5 处理, >2.000 mm、0.251~2.000 mm 团聚体中有机碳贡献率达到 20.4%、30.6%。可见,绿肥粉垄耕作耦合处理提高了滨海盐碱地土壤大团聚体中有机碳的贡献率,尤其是 0.251~2.000 mm 团聚体中土壤有机碳的贡献率。

3 讨论

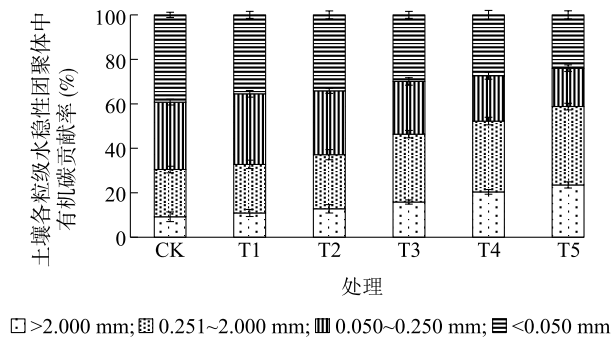
中国江苏苏北滨海盐碱地资源丰富,总面积约为 6.87×10^5 hm^2 , 占中国滩涂盐碱地总面积的 1/4 以上。但盐碱地土壤盐分含量高、养分含量低,尤其

2.4 绿肥粉垄耕作耦合对滨海盐碱地土壤不同粒级团聚体中有机碳含量的影响

由图 3 所示,种植苕子可提高滨海盐碱地土壤水稳性团聚体中有机碳含量,与 CK 以及 T1、T2 处理相比,种植苕子还田常规耕作(T4)、种植苕子还田粉垄耕作(T5)可进一步提高水稳性团聚体中有机碳含量,其中,T5 处理效果最好。T5 处理下, >2.000 mm、0.251~2.000 mm、0.050~0.250 mm、<0.050 mm 团聚体中有机碳含量较对照分别提高了 13.7%、12.1%、9.6%、9.8%。可见,绿肥粉垄耕作耦合能明显增加各粒径团聚体中有机碳含量,尤其是大团聚体中有机碳含量。

是有机质含量低,土壤物理结构较差,大粒径团聚体比例少,不能满足农作物正常生长发育要求^[15-16]。

土壤有机碳(SOC)是反映土壤质量的重要指标之一。一方面,因为 SOC 具有胶体特性,所以土壤中大量 SOC 的存在能够显著改变微量元素的吸附特性,吸附较多的阳离子。这种特性可以保持土壤养分,为作物生长提供必要的营养元素。另一方面, SOC 可通过与无机物(尤其是纳米级的铁铝氧化物)相互作用,形成了有机无机复合体,改善土壤的物理性质,如渗透性、腐蚀性和亲水性等。以上两方面的积极作用显示出 SOC 在土壤养分循环和保持农业生产能力中的重要地位^[17]。土壤有机碳包括易氧化有机碳(EOC)、微生物生物量碳(MBC)和可溶性有机碳(DOC)等组分,这些组分在土壤中的周转速度快,对土地利用方式、施肥和耕作方式等外部



CK, T1~T5 见图 1 注。

图 4 绿肥粉垄耕作耦合对滨海盐碱地土壤各粒级水稳性团聚体中有机碳贡献率的影响

Fig.4 Effects of green manure and smash ridging coupling on the contribution of organic carbon in water stable aggregates of different particle sizes in soil of coastal saline alkali land

环境的变化相应更为敏感,已经成为土壤、环境、生态等学科领域研究的焦点之一^[18]。

前人研究结果表明,沿海滩涂种植绿肥并翻压还田可明显改善滩涂土壤养分状况,显著增加土壤碳存储,尤其是土壤碳库的活性组分。这主要是因为绿肥翻压还田后可通过腐解释放大量有机物成为优质有机肥源,土壤有机养分库容增加,速效养分吸纳能力得以提高^[17,19]。

与传统耕作方式相比,粉垄耕作可一次性完成深耕松土和整地等工序,简化了耕作程序,提高了作业效率。粉垄耕作有利于破除犁底层并改善深层土壤结构,从而提高耕层土壤孔隙度和孔隙连续性,而且,粉垄耕作使得土壤松散,土壤颗粒光滑细小,排列结构更为紧密,土壤大粒径团聚体比例提高,土壤团聚体的稳定性更强^[6,20]。绿肥粉垄耕作耦合处理下,粉垄耕作拓展了土壤中养分、水分、氧气、微生物等的物理空间,绿肥翻压还田为土壤提供了大量有机质,保证了作物养分的供应^[21]。张维理等^[22]研究结果表明,绿肥作物紫云英粉垄耕作还田后,能快速形成土壤有效有机质,并矿化释放矿质养分,促进土壤腐殖质降解和再生,利于土壤团聚体结构的形成和土壤质量的提升,本研究结果与其较为一致。绿肥粉垄耕作耦合处理使得土壤容重降低,碱解氮含量、有机质含量、有机碳含量及有机碳储量均显著提高,土壤有机碳含量提高幅度达 32.9%。

DOC、EOC、MBC 的组成与变化代表了土壤有

机碳分解和养分释放的潜力^[23]。本研究发现,绿肥粉垄耕作耦合处理下,土壤 DOC、EOC、MBC 含量显著高于 CK 以及 T1、T2 处理。原因在于,DOC、EOC 等有机碳组分主要由植物根系、茎秆等残体以及细菌、真菌等微生物及其代谢产物组成。绿肥翻压还田给土壤提供较多的植物残体,从而为土壤微生物生长提供更多速效养分,进一步刺激了微生物对植株残体的分解,MBC 含量也随之提高,为土壤有机碳的产生提供保证^[24]。

土壤团聚体是由矿物颗粒和有机物质结合形成,具有不同尺度的多孔结构,对土壤有机碳具有保护作用^[25-27]。土壤团聚体通过物理隔离等闭蓄机制,提高土壤有机碳的稳定性,从而提高了土壤避免通过矿化和淋溶等途径丢失碳的能力^[28-29]。本研究通过绿肥粉垄耕作耦合,土壤>2.000 mm、0.251~2.000 mm 粒级土壤团聚体质量占比提高,0.050~0.250 mm、<0.050 mm 粒级团聚体质量占比降低。这主要是因为粉垄耕作具有良好的土壤碎裂性、土壤松散性高、机械钻横向扰动土壤的优势^[30]。而大团聚体是土壤有机碳的固存库,与大团聚体结合的有机碳还有助于维持土壤团聚体的稳定性^[31]。本研究中,绿肥粉垄耕作耦合处理提高了水稳性团聚体中有机碳含量及团聚体中有机碳贡献率,大粒径团聚体中有机碳含量及有机碳贡献率更高。>2.000 mm、0.251~2.000 mm 团聚体有机碳含量较对照分别提高了 13.7%、12.1%,有机碳贡献率达到 20.4%、30.6%。

4 结论

本研究以滨海盐碱地为土壤资源,充分耦合绿肥固碳特性及粉垄耕作促进土壤有机碳的转化效应,以促进土壤有机碳积累为切入点,研究了绿肥粉垄耕作耦合对土壤有机碳积累及组分的影响,以期充分发挥绿肥粉垄耕作耦合在滨海盐碱地改良中的潜在优势。与其他研究相比,本研究更具有地域性和针对性。研究结果显示,绿肥粉垄耕作耦合显著提高了滨海盐碱地土壤有机碳及活性组分含量,有效提升了土壤水稳性大团聚体比例和土壤团聚体有机碳含量及贡献率。该耕作方式有利于滨海盐碱地土壤有机碳的积累,提高滨海盐碱地土壤耕地质量。

参考文献:

- [1] 王茂文,刘冲,丁海荣,等. 苏北沿海滩涂盐肥耦合对马齿苋

- 生长及土壤环境的影响[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(2): 331-337.
- [2] 黄璐, 李廷亮, 李顺, 等. 旱地冬小麦夏闲期种植不同豆科绿肥对还田养分和土壤有机碳、氮组分的影响[J]. 生态学杂志, 2022, 41(12): 2335-2343.
- [3] 苏港, 王怡针, 吴锡冬, 等. 还田时期对绿肥用油菜腐解与养分释放规律的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2022(12): 192-199.
- [4] 孙文彦, 孙敬海, 尹红娟, 等. 绿肥与苗木间种改良苗圃盐碱地的研究[J]. 土壤通报, 2015, 46(5): 1221-1225.
- [5] 石伟业, 何文寿, 李惠霞, 等. 粉垄耕作对土壤理化性质和水稻生长及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(1): 232-238.
- [6] 孙美乐, 蒯国仓, 回经涛, 等. 粉垄耕作对新疆盐碱土壤理化性质及棉花生长影响[J]. 中国土壤与肥料, 2020(6): 58-64.
- [7] ZHENG J S, HU J M, WEI Y Y, et al. Effects of green manure and smash ridging coupling on topsoil aggregate structure in paddy field[J]. Journal of Southern Agriculture, 2020, 51(11): 2653-2664.
- [8] 许伟佳, 陈林, 李敬王, 等. 秸秆还田配施不同激发剂对潮土有机碳和微生物群落的影响[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(2): 383-392.
- [9] 张红雪, 朱巧莲, 郭力铭, 等. 烟秆生物质炭与化肥配施对植烟土壤有机碳组分及微生物的影响[J]. 土壤, 2022, 54(6): 1149-1156.
- [10] 朱小梅, 王建红, 温祝桂, 等. 不同绿肥品种提升滩涂生地土壤养分及酶活性效应的比较[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(12): 307-310.
- [11] 张穗粒, 盛茂银, 王霖娇, 等. 西南喀斯特长期植被修复对土壤有机碳组分的影响[J]. 生态学报, 2023, 43(20): 8476-8492.
- [12] SIX J, ELLIOTT E T, PAUSTIAN K, et al. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1998, 62(5): 1367-1377.
- [13] 白怡婧, 刘彦伶, 李渝, 等. 长期不同轮作模式对黄壤团聚体组成及有机碳的影响[J]. 土壤, 2021, 53(1): 161-167.
- [14] 李金垚, 潘雯, 王佳, 等. 黔中石漠化地区水土保持措施对土壤有机碳的影响[J]. 水土保持学报, 2022, 36(5): 38-43.
- [15] 朱小梅, 洪立洲, 邢锦城, 等. 不同绿肥轮作模式对沿海滩涂土壤的改良效应[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(6): 1510-1516.
- [16] 魏守才, 谢文军, 夏江宝, 等. 盐渍化条件下土壤团聚体及其有机碳研究进展[J]. 应用生态学报, 2021, 32(1): 369-376.
- [17] 习盼, 董倩, 张亚楠, 等. 盐城滩涂湿地典型植物群落土壤活性有机碳组分分布特征[J]. 生态学杂志, 2020, 39(11): 3623-3632.
- [18] CAO L, SONG J M, WANG Q D, et al. Characterization of labile organic carbon in different coastal wetland soils of Laizhou Bay, Bohai Sea[J]. Wetlands, 2017, 37(1): 163-175.
- [19] 胡启良, 杨滨娟, 刘宁, 等. 绿肥混播下不同施氮量对水稻产量、土壤碳氮和微生物群落的影响[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(6): 16-26.
- [20] 崔烜玮, 何进宇, 杨佳鹤, 等. 粉垄耕作对作物生境、产量及品质影响研究现状与展望[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(7): 10-16.
- [21] 郑佳舜, 胡钧铭, 韦翔华, 等. 绿肥压青对粉垄稻田土壤微生物量碳和有机碳累积矿化量的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, 29(4): 691-703.
- [22] 张维理, KOLBE H, 张认连. 土壤有机碳作用及转化机制研究进展[J]. 中国农业科学, 2020, 53(2): 317-331.
- [23] 蔡雪梅, 潘占东, 罗珠珠, 等. 黄土高原雨养区苜蓿种植年限对土壤固碳细菌丰度和活性有机碳组分的影响[J]. 草业科学, 2021, 38(6): 1024-1034.
- [24] 赵惠丽, 董金璠, 师江澜, 等. 秸秆还田模式对小麦-玉米轮作体系土壤有机碳固存的影响[J]. 土壤学报, 2021, 58(1): 213-224.
- [25] 朱翰绅, 徐聪, 吴迪, 等. 减量施氮、秸秆还田和蚯蚓接种对黄河故道区土壤团聚体及有机碳的影响[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(9): 278-284.
- [26] 李诗, 张俊辉, 胡钧铭, 等. 有机肥等氮替代对双季稻根区土壤结构环境及根活力的影响[J]. 南方农业学报, 2023, 54(11): 3206-3216.
- [27] 郑昕雨, 陈鹏, 韩金吉, 等. 冻融循环对土壤团聚体与微生物特性影响研究进展[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(4): 1080-1088.
- [28] 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.
- [29] 王富华, 黄容, 高明, 等. 生物质炭与秸秆配施对紫色土团聚体中有机碳含量的影响[J]. 土壤学报, 2019, 56(4): 929-939.
- [30] 张宇, 蒋代华, 黄金兰, 等. 粉垄耕作对赤红壤团聚体粒级分布和稳定性的影响[J]. 生态学杂志, 2021, 40(12): 3922-3932.
- [31] 孙羽, 李晓燕, 陈杰, 等. 不同恢复措施对退化高寒草甸土壤团聚体稳定性及其有机碳分布的影响[J]. 中国草地学报, 2023, 45(3): 60-66.

(责任编辑:黄克玲)