

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.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2022.06.008

## 不同绿肥轮作模式对沿海滩涂土壤的改良效应

朱小梅<sup>1</sup>, 洪立洲<sup>1</sup>, 邢锦城<sup>1</sup>, 刘冲<sup>1</sup>, 董静<sup>1</sup>, 王建红<sup>2</sup>, 何苏南<sup>1</sup>, 孙果丽<sup>1</sup>

(1. 江苏沿海地区农业科学研究所, 江苏 盐城 224002; 2. 浙江省农业科学院, 浙江 杭州 310021)

**摘要:** 为探讨不同绿肥轮作还田模式对沿海滩涂土壤的改良效果, 通过田间试验研究了黑麦草-田菁 (LS)、蚕豆-田菁 (VS) 2 种轮作模式下绿肥还田生物量、养分 (碳、氮、磷、钾) 累积量以及土壤 pH、有机碳含量、全氮含量、碱解氮含量、有效磷含量、速效钾含量、水溶性盐总量的变化, 以及各指标间的相关性。结果表明, LS 轮作模式下的还田生物量整体高于 VS 轮作模式。LS 轮作模式下 5 季绿肥的碳、氮、磷、钾养分累积总量较 VS 轮作模式下分别增加 27.80%、9.80%、33.60% 和 27.10%。2 种轮作模式下, 1~5 季绿肥翻压还田后, 土壤 pH 值为 8.02~8.26, 土壤有机碳、全氮、碱解氮、有效磷含量分别较种植前增加 17.70%~99.60%、6.90%~100.00%、53.60%~158.00% 和 1.39%~71.26%, 且整体以 LS 轮作模式下较高。土壤水溶性盐总量在第 1~3 季逐渐降至 1.00 g/kg 以下, 第 4~5 季又呈缓慢上升趋势。综上, 不同绿肥轮作模式下绿肥还田可明显改善滩涂土壤养分和盐分状况, 且 LS 轮作模式优于 VS 轮作模式。

**关键词:** 沿海滩涂; 绿肥轮作; 生物量; 养分累积量; 土壤改良

**中图分类号:** S156 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2022)06-1510-07

## Effects of different green manure rotation patterns on soil improvement in coastal area

ZHU Xiao-mei<sup>1</sup>, HONG Li-zhou<sup>1</sup>, XING Jin-cheng<sup>1</sup>, LIU Chong<sup>1</sup>, DONG Jing<sup>1</sup>, WANG Jian-hong<sup>2</sup>, HE Su-nan<sup>1</sup>, SUN Guo-li<sup>1</sup>

(1. Institute of Agricultural Sciences in the Coastal District of Jiangsu Province, Yancheng 224002, China; 2. Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China)

**Abstract:** In order to explore the improvement effect of different green manure rotation patterns on coastal soil, field experiments were conducted to study the changes of biomass, nutrient (carbon, nitrogen, phosphorus, potassium) accumulation, soil pH, organic carbon content, total nitrogen content, alkali-hydrolyzed nitrogen content, available phosphorus content, available potassium content, water-soluble salt content, and the correlation between the indicators under two rotation patterns of *Lolium perenne* L.-*Sesbania cannabina* (LS) and *Vicia faba* L.-*Sesbania cannabina* (VS). The results showed that the overall returning biomass under LS rotation pattern was higher than that under VS rotation pattern. Compared with VS rotation pattern, the total accumulation of carbon, nitrogen, phosphorus and potassium in the five seasons of green manure under LS rotation pattern increased by 27.80%, 9.80%, 33.60% and 27.10%, respectively. Under different rotation patterns, after returning green manure to field in the first-fifth seasons, the soil pH was 8.02-8.26, the contents of soil organic carbon, total nitrogen, alkali-hydro-

lyzed nitrogen and available phosphorus were increased by 17.70%-99.60%, 6.90%-100.00%, 53.60%-158.00% and 1.39%-71.26% compared with those before planting, and they were higher under LS rotation pattern. Soil water-soluble salt content gradually decreased to below 1.00 g/kg in the first to third seasons, and then increased slowly in the fourth to fifth seasons. In conclusion, different green manure rotation patterns can significantly improve the nutrient and salini-

收稿日期: 2022-03-10

基金项目: 国家绿肥产业技术体系项目 (CARS-22-G-15); 江苏现代农业产业技术体系建设项目 [JAST(2021)243]; 江苏省农业科技自主创新基金项目 [CX(21)3169]

作者简介: 朱小梅 (1982-) 女, 江苏盐城人, 硕士, 副研究员, 主要从事植物营养与土壤改良利用研究。 (E-mail) xi-aomeizhu301@163.com

通讯作者: 邢锦城, (E-mail) 47553292@qq.com

ty conditions of coastal soil, and LS rotation pattern is better than VS rotation pattern.

**Key words:** coastal area; green manure rotation; biomass; nutrient accumulation; soil improvement

江苏沿海滩涂资源丰富,总面积约为 $6.87 \times 10^5$   $\text{hm}^2$ ,大概占中国滩涂总面积的 1/4,且每年仍以几米至几十米的速率向东淤涨,最大淤进速率可达  $200 \text{ m/a}^{[1]}$ 。随着江苏沿海开发战略的实施,新围垦滩涂盐碱地的开发利用潜力越发受到重视。但由于滩涂土壤盐分含量较高,其时空动态变化呈现的长期性和反复性导致农作物生长受阻、产量降低,这与滩涂土壤物理结构差、有机质含量低、养分供应不足等也密切相关。在自然进化条件下,滩涂盐碱地土壤有机质积累十分缓慢,而大量投入外源有机物则又存在着重金属、激素、抗生素累积过量等问题。

绿肥具有培肥地力、改善土壤结构、供给作物养分等作用,在传统农业中具有重要地位。有研究结果表明,田菁、黑麦草等绿肥均具有较强的耐旱、耐盐、耐瘠能力,在滩涂盐碱地种植可获得较高的生物量<sup>[2-3]</sup>。很多学者在绿肥种植与利用模式、绿肥对化

肥的替代作用、绿肥对土壤结构和养分的影响等领域开展了大量研究<sup>[4-5]</sup>,但关于长期绿肥轮作还田对滩涂盐碱土的生物改良及盐渍化修复方面的系统研究还不多。本研究拟以新围垦滩涂盐碱地为长期定位试验点,探索黑麦草-田菁、蚕豆-田菁 2 种绿肥轮作模式下,连续种植并翻压绿肥对土壤养分及盐分含量的影响,以期为绿肥在滩涂盐碱土生态改良应用方面提供理论基础和技术参数。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

定位试验点位于江苏省东台市弶港镇条子泥垦区( $32^\circ 51' 6'' \text{N}$ ,  $120^\circ 53' 31'' \text{E}$ ),该区域属于北亚热带季风气候,年均气温  $13 \sim 16^\circ \text{C}$ ,年均降雨量  $900 \sim 1\,300 \text{ mm}$ 。土壤类型为滨海盐潮土,基本性状见表 1。

表 1 供试土壤基本性状

Table 1 Basic properties of experimental soil

pH 值	有机碳含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	盐离子总量 (g/kg)
8.01	3.44	0.29	25.00	15.10	437.00	2.76

### 1.2 试验设计

试验设蚕豆-田菁(VS)、黑麦草-田菁(LS) 2 种绿肥轮作模式。每种模式设 6 次重复,随机区组排列,每个小区面积  $24 \text{ m}^2$ 。根据前期试验结果,蚕豆、田菁施氮量均为  $180 \text{ kg/hm}^2$ ,黑麦草施氮量为  $225 \text{ kg/hm}^2$ ,磷肥施用量均为  $90 \text{ kg/hm}^2 \text{ P}_2\text{O}_5$ ,钾肥施用量均为  $75 \text{ kg/hm}^2 \text{ K}_2\text{O}$ 。磷、钾肥全部作为基肥于当季施入,氮肥按基肥 50%、追肥 50%的比例施入。试验始于 2017 年 10 月,本研究共采集整理 5 季数据,VS 轮作模式下第 1 季到第 5 季对应的绿肥植物为:蚕豆-田菁-蚕豆-田菁-蚕豆;LS 轮作模式下第 1 季到第 5 季对应的绿肥植物为:黑麦草-田菁-黑麦草-田菁-黑麦草。蚕豆和黑麦草的播期为每年 10 月中旬,翻压期为翌年 5 月上中旬;田菁的播期为每年 6 月上旬,翻压期为每年 8 月下旬。绿肥翻压前测产,并采集植株样品用于养分含量的测定。土壤样品采集时间为每季绿肥翻压还田 25 d 后,取样深度为  $20 \text{ cm}$ 。

### 1.3 测定项目和方法

绿肥植株样品经  $105^\circ \text{C}$  杀青、 $75^\circ \text{C}$  烘干后,分别采用凯氏定氮法、钒钼黄比色法、火焰光度法、 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  容量法测定其全氮、全磷、全钾、有机碳含量<sup>[6]</sup>。土壤样品风干后,分别采用电位法、凯氏定氮法、 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  容量法、残渣烘干-质量法、碱解扩散法、Olsen 法、 $\text{NH}_4\text{OAc}$  浸提-火焰光度法测定其 pH 值、全氮含量、有机碳含量、水溶性盐总量、碱解氮含量、有效磷含量和速效钾含量<sup>[6]</sup>。

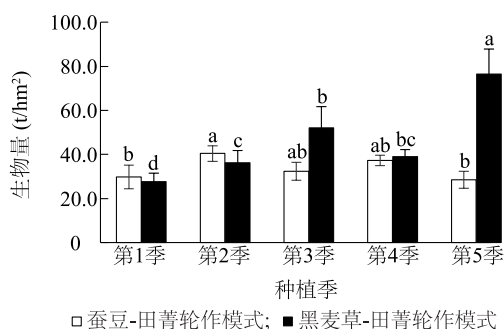
试验数据采用 Excel 2013 和 SPSS 26.0 进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同轮作模式下绿肥还田生物量

图 1 显示,VS 轮作模式下,蚕豆秸秆生物量以第 3 季最高,为  $32.4 \text{ t/hm}^2$ ,第 1 季、第 5 季生物量均低于  $30.0 \text{ t/hm}^2$ ,且第 5 季生物量低于第 1 季和

第 3 季。LS 轮作模式下,第 1 季、第 3 季、第 5 季黑麦草生物量整体呈逐年递增趋势,第 5 季黑麦草生物量达  $76.6 \text{ t/hm}^2$ ,各黑麦草种植季间生物量差异显著。VS 和 LS 轮作模式下,第 2 季、第 4 季田菁生物量均高于  $35.0 \text{ t/hm}^2$ ,且前茬蚕豆或黑麦草翻压量与下茬田菁的生物量呈正相关。LS 轮作模式下,5 季绿肥还田总生物量为  $231.6 \text{ t/hm}^2$ ,较 VS 轮作模式下的  $168.4 \text{ t/hm}^2$  高 37.5%。



同一种植模式不同种植季间不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图 1 不同轮作模式下不同种植季绿肥生物量

Fig.1 Biomass of green manure in different planting seasons under different rotation patterns

表 2 不同轮作模式下绿肥养分累积量

Table 2 Nutrient accumulation of green manure under different rotation patterns

轮作模式		累积量 ( $\text{kg/hm}^2$ )			
		碳	氮	磷	钾
蚕豆-田菁 (VS)	第 1 季	2 285.2±14.1d	96.2±6.2c	7.0±0.6c	116.6±5.7c
	第 2 季	3 660.5±64.6a	159.9±8.0a	16.9±1.6a	216.3±5.0a
	第 3 季	2 393.2±53.8d	108.9±10.1c	9.3±0.8b	154.9±4.6b
	第 4 季	3 454.2±91.2b	97.0±4.0c	18.6±1.1a	200.0±11.6a
	第 5 季	3 182.7±120.0c	135.1±13.5b	10.4±1.0b	164.7±14.2b
黑麦草-田菁 (LS)	第 1 季	2 445.7±228.8e	73.4±8.9d	8.8±0.3c	139.3±5.1d
	第 2 季	3 274.9±106.7d	146.1±16.6b	16.3±1.7b	202.4±5.6c
	第 3 季	3 853.5±111.3b	147.5±7.4b	16.8±1.6b	217.7±10.7b
	第 4 季	3 554.0±136.2c	101.2±2.0c	18.3±0.8b	204.4±8.1bc
	第 5 季	6 009.4±114.2a	187.3±3.0a	22.9±1.9a	320.0±9.2a

同列数据后不同小写字母表示同一种植模式不同种植季间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

2.3.2 有机碳含量 图 3 显示,VS、LS 轮作模式下,土壤有机碳含量均整体呈逐季增加趋势,与种植前相比,增幅分别为 17.7%~90.9% (VS) 和 34.3%~99.6% (LS),第 5 季土壤有机碳含量分别为  $6.64 \text{ g/kg}$  (VS) 和  $6.95 \text{ g/kg}$  (LS),是种植前的近 2 倍。整体上,LS 轮作模式下每季的土壤有机碳含量高于 VS 轮作模式。

2.3.3 全氮含量 图 4 显示,与种植前相比,种植并翻

## 2.2 不同轮作模式下绿肥养分累积量

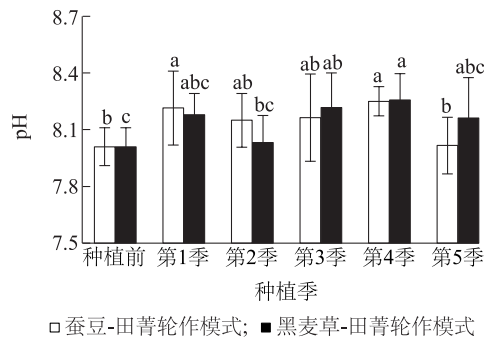
表 2 显示,2 种轮作模式下,第 2 季与第 4 季田菁翻压还田的磷、钾量无显著差异,碳、氮量差异显著。VS 轮作模式下,第 5 季蚕豆秸秆还田碳、氮量显著高于第 1 季和第 3 季,磷、钾量则表现为第 3 季和第 5 季显著高于第 1 季。LS 轮作模式下,各种种植季黑麦草还田的碳、氮、磷、钾养分均呈逐年递增趋势,第 3 季、第 5 季的碳、氮、磷、钾养分与第 1 季相比,分别增加 57.6%~145.7%、101.0%~155.2%、91.0%~160.2% 和 56.3%~129.7%。LS 轮作模式下还田的碳、氮、磷、钾养分总量均明显高于 VS 轮作模式。

## 2.3 不同轮作模式下绿肥还田对土壤基本性状的影响

2.3.1 pH 图 2 显示,1~5 季绿肥翻压还田后,土壤 pH 值为 8.02~8.26,较种植前的 8.01 有所升高,且均以第 4 季田菁翻压还田后的土壤 pH 值最高,LS 轮作模式下第 2 季田菁还田后土壤 pH 值及 VS 轮作模式下第 5 季蚕豆秸秆还田后土壤 pH 值较低,与种植前基本相当。

压绿肥可明显提升土壤中全氮含量,增幅为 6.90%~100.00%,其中以第 2 季土壤中全氮含量最高,2 种轮作模式下的土壤全氮含量分别为  $0.54 \text{ g/kg}$  (VS) 和  $0.58 \text{ g/kg}$  (LS),第 3 季稍有回落后又逐步上升,第 5 季土壤中全氮的含量分别为  $0.50 \text{ g/kg}$  (VS) 和  $0.58 \text{ g/kg}$  (LS),LS 轮作模式效果优于 VS 轮作模式。

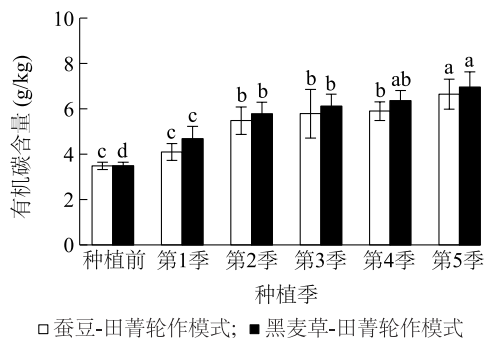
2.3.4 碱解氮含量 图 5 显示,除 VS 轮作模式下第 1 季土壤碱解氮含量外,2 种轮作模式下第 1~5 季的



同一种植模式不同种植季间不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图2 不同绿肥轮作模式下不同种植季土壤 pH 变化

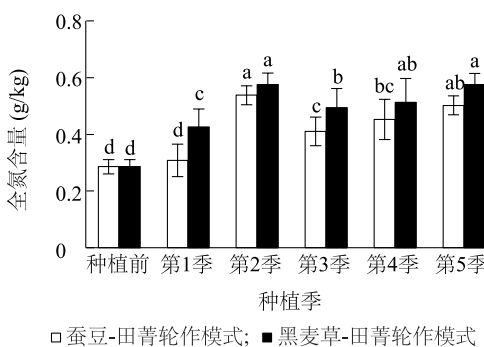
Fig.2 Changes of soil pH in different planting seasons under different green manure rotation patterns



同一种植模式不同种植季间不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图3 不同绿肥轮作模式下不同种植季土壤有机碳含量变化

Fig.3 Changes of soil organic carbon content in different planting seasons under different green manure rotation patterns

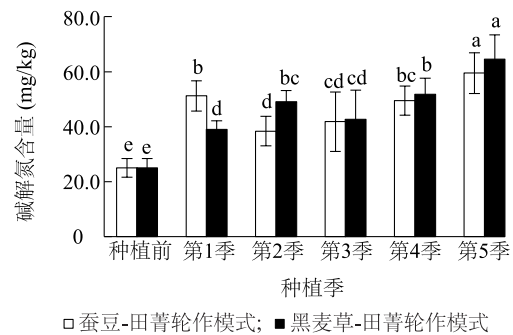


同一种植模式不同种植季间不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图4 不同绿肥轮作模式下不同种植季土壤全氮含量变化

Fig.4 Changes of soil total nitrogen content in different planting seasons under different green manure rotation patterns

土壤碱解氮含量总体呈缓慢增加趋势,较种植前增加 53.6%~158.0%,且均以第5季的土壤碱解氮含量最高,分别为 59.5 mg/kg (VS) 和 64.5 mg/kg (LS)。

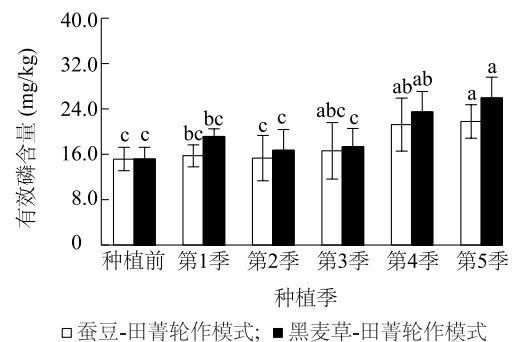


同一种植模式不同种植季间不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图5 不同绿肥轮作模式下不同种植季土壤碱解氮含量变化

Fig.5 Changes of soil alkali-hydrolyzed nitrogen content in different planting seasons under different green manure rotation patterns

2.3.5 有效磷含量 图6显示,2种轮作模式下,土壤有效磷含量较种植前增加1.39%~71.26%,其中,第1~3季土壤有效磷含量与种植前相比无显著差异,第4季、第5季土壤有效磷含量则显著提高,均达到 20 mg/kg 以上,且1~5季均以 LS 轮作模式下的土壤有效磷含量较高,这与绿肥根系对土壤磷的活化及绿肥生物量的逐季提升有密切关系。



同一种植模式不同种植季间不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

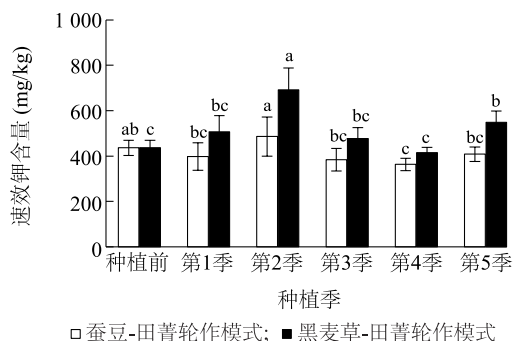
图6 不同绿肥轮作模式下不同种植季土壤有效磷含量变化

Fig.6 Changes of soil available phosphorus content in different planting seasons under different green manure rotation patterns

2.3.6 速效钾含量 图7显示,VS 轮作模式下,除第2季土壤速效钾含量较种植前略有增高外,其他4个种植季的土壤速效钾含量 (364~408 mg/kg) 均低于种植前,但仍高于全国第二次土壤普查养分分级标准中的极高标准 ( $\geq 200$  mg/kg)。LS 轮作模式下,除第4季速效钾含量略低于种植前外,其他4个种植季的速效钾



含量较种植前分别增加9.38%~58.35%。



不同小写字母表示同一种种植模式不同种植季间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

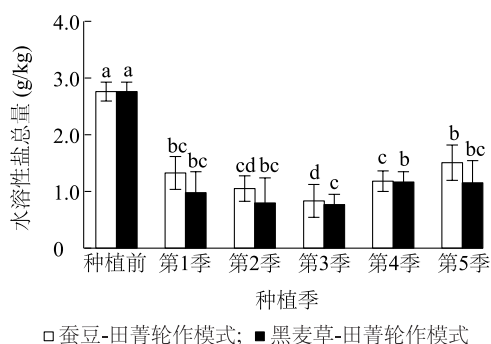
图7 不同绿肥轮作模式下不同种植季土壤速效钾含量变化

Fig.7 Changes of soil available potassium content in different planting seasons under different green manure rotation patterns

**2.3.7 水溶性盐总量** 图8显示,整体上以LS轮作模式对滩涂盐碱土的降盐效果较好。与种植前相比,绿肥翻压还田第1~3季土壤水溶性盐总量显著降低,表现为第1季>第2季>第3季,且2种轮作模式下第3季的土壤水溶性盐总量分别下降到0.83 g/kg(VS)和0.77 g/kg(LS),而第4季、第5季的水溶性盐总量则有所增加,范围为1.15~1.50 g/kg,上升至轻度盐化土范畴<sup>[6]</sup>,且以VS轮作模式下土壤水溶性盐总量较高。

## 2.4 不同轮作模式下还田绿肥生物量、养分累积量与土壤基本性状指标间的相关性

表3显示,绿肥生物量与绿肥碳、氮、磷、钾累积量均呈极显著正相关关系。土壤有机碳含量、全氮含量与绿肥碳、氮、磷、钾累积量之间总体呈显著或极显著正相关关系。土壤有效磷、速效钾、碱解氮含量与绿肥生物量以及碳、氮、磷、钾累积量间也存在一定的正相关关系,但相关系数稍低。土壤水溶性盐总量与大部分指标间均呈负相关,间接说明了绿肥还田可降低滩涂盐碱土水溶性盐总量。



同一种种植模式不同种植季间不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图8 不同绿肥轮作模式下不同种植季土壤水溶性盐总量变化

Fig.8 Changes of soil water-soluble salt content in different planting seasons under different green manure rotation patterns

表3 绿肥生物量、养分累积量与土壤基本性状指标间的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between green manure biomass, nutrient accumulation and soil basic properties

项目	生物量	绿肥碳累积量	绿肥氮累积量	绿肥磷累积量	绿肥钾累积量	土壤 pH	土壤有机碳含量	土壤全氮含量	土壤有效磷含量	土壤速效钾含量	土壤水溶性盐总量
绿肥碳累积量	0.942 **										
绿肥氮累积量	0.787 **	0.790 **									
绿肥磷累积量	0.801 **	0.870 **	0.624								
绿肥钾累积量	0.931 **	0.977 **	0.799 **	0.924 **							
土壤 pH	0.145	0.018	-0.401	0.178	0.019						
土壤有机碳含量	0.617	0.715 *	0.606	0.682 *	0.732 *	-0.227					
土壤全氮含量	0.557	0.716 *	0.737 *	0.775 **	0.788 **	-0.406	0.749 *				
土壤有效磷含量	0.491	0.652 *	0.175	0.540	0.574	0.109	0.686 *	0.400			
土壤速效钾含量	0.274	0.331	0.493	0.321	0.395	-0.507	0.091	0.625	-0.078		
土壤水溶性盐总量	-0.121	0.030	-0.104	-0.149	-0.134	-0.084	0.062	-0.202	0.433	-0.480	
土壤碱解氮含量	0.488	0.570	0.384	0.338	0.447	-0.237	0.556	0.277	0.747 *	0.033	0.616

\* 表示在 0.05 水平显著相关; \*\* 表示在 0.01 水平显著相关。

### 3 讨论

#### 3.1 不同轮作模式对还田绿肥生物量和养分累积量的影响

前人的研究表明,禾本科、豆科绿肥分别在抽穗初期和盛花期翻压还田对土壤的改良效应最优<sup>[2-5]</sup>。曾妮等<sup>[7]</sup>对黑麦草等绿肥的研究结果表明,以 68.0 t/hm<sup>2</sup>的黑麦草还田,其可提供的氮、磷养分含量分别为 230.0 kg/hm<sup>2</sup>和 30.0 kg/hm<sup>2</sup>。本研究,LS 轮作模式下,第 5 季黑麦草的氮、磷养分还田量分别为 187.3 kg/hm<sup>2</sup>和 22.9 kg/hm<sup>2</sup>,这可能与不同试验条件及其翻压时期有关。本研究为兼顾蚕豆的经济效益,其秸秆是收获豆荚后再翻压,生物量低于刘阳等<sup>[8]</sup>在盛花期翻压的蚕豆秸秆,蚕豆秸秆还田的养分量总体低于田菁和黑麦草。

#### 3.2 不同轮作模式下绿肥还田对土壤基本性状的影响

pH 是重要的土壤理化指标之一,对土壤中元素存在形态、微生物繁殖及植物生长发育进程都有很大影响<sup>[9-15]</sup>。绿肥还田腐解后会产生大量腐殖酸,短期内土壤 pH 值会呈下降趋势<sup>[16-17]</sup>。有研究发现,绿肥还田后 20 d,土壤 pH 值高于不还田处理,20~100 d 呈现或增或降的动态变化<sup>[18]</sup>。邓小华等<sup>[19]</sup>也发现不同绿肥翻压还田 3 年后土壤 pH 无规律性变化。在本研究中,不同轮作模式下,各季绿肥还田后的土壤 pH 值或与种植前持平或略有增高。笔者认为:绿肥的种植和翻压增加了土壤中水稳性团聚体的数量,土壤对绿肥分解后小分子的有机酸及自身含有的碳酸盐等盐基离子引起的 pH 值变化有了较大的缓冲能力,使 pH 趋于平衡、稳定,而非单纯的上升或下降。另外,每季绿肥翻压量的不同及翻压后的降水、气温等环境因素变化也会影响绿肥的腐解速率以及与之密切相关的土壤 pH。

种植绿肥并翻压还田有助于提高土壤中有机质含量,调节土壤养分平衡<sup>[20-22]</sup>。有研究发现,连续 5 年平均每年翻压绿肥 22.5~30.0 t/hm<sup>2</sup>,土壤有机碳增加 0.1%~0.2%<sup>[23]</sup>。本研究连续 5 个种植季,每季翻压绿肥 27.6~76.6 t/hm<sup>2</sup>,第 5 季绿肥翻压后土壤有机碳含量为种植前的近 2 倍,与前人的研究结果差异较大,这可能与每季绿肥的翻压量较高及滩涂盐碱土本身有机碳基数较低,绿肥翻压还田更易被消解与吸纳,从而促进土壤有机碳含量的大幅提升有关。

在本研究中,VS、LS 轮作模式下,每季绿肥翻压

后的土壤全氮、碱解氮、有效磷含量均较种植前明显提高,这与前人的研究结果基本一致<sup>[18-19,24-25]</sup>。大量研究表明,绿肥还田可显著提升土壤中速效钾含量<sup>[18,25-26]</sup>,连续种植翻压绿肥 3 年后的土壤速效钾含量可比翻压前增加 300 mg/kg 以上<sup>[19]</sup>。本研究结果与之有所不同,LS 轮作模式下,绿肥还田后土壤速效钾含量总体高于种植前,而 VS 轮作模式下土壤速效钾含量总体低于种植前。究其原因:一是相对于蚕豆而言,黑麦草有一定的耐盐能力<sup>[27]</sup>,在滩涂盐碱地适应性较强,生物量较高,根系也较发达,可活化吸收土壤中部分难溶性的钾,翻压还田后使 0~20 cm 土层中速效钾含量高于蚕豆处理;二是植株中的钾主要以离子或无机盐形态存在,极易分解释放,禾本科绿肥在翻压后 30 d 内,豆科绿肥在翻压后 14 d 内就可释放其钾总量的 70% 以上<sup>[28]</sup>,本研究土壤样品的采集时间为绿肥翻压后 25 d,在此期间 VS 轮作模式下豆科绿肥释放的养分较集中,更易由于降水等因素产生淋溶损失,且尽管土壤胶体可以通过离子交换、静电吸附等形式固定一部分钾,但依然存在钾离子的流失,因此,VS 轮作模式下土壤速效钾含量会出现低于种植前的情况。

土壤水溶性盐是盐碱土的一个重要属性,是限制作物生长的障碍因子<sup>[6]</sup>。有报道指出,油菜绿肥翻压还田 2 年后,0~20 cm 土层电导率即可由种植前的 1.37~2.18 ms/cm 降至 1.00 ms/cm 以下<sup>[29]</sup>。高丹草绿肥压青后的土壤盐含量可由压青前的 1.23 g/kg 降到 0.95 g/kg<sup>[30]</sup>。本研究中土壤水溶性盐总量由种植前的 2.76 g/kg 降至第 5 季的 1.15~1.50 g/kg,效果显著,与前人的研究结论一致。但相较于上述单季或双季绿肥试验,本试验连续进行了 5 季,第 1~3 季绿肥翻压后土壤水溶性盐含量呈下降趋势,第 4~5 季则又呈逐渐增加的趋势,这可能与本试验中化学肥料的施用有关,外源化肥施用投入的 K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 等养分离子被绿肥植株吸收利用后又通过翻压腐解的方式回归土壤,大部分以离子态存在于土壤溶液中,从而使土壤水溶性盐总量呈累积升高态势。可见,连续种植绿肥并翻压还田 2~3 季即可对滩涂盐碱土起到较好的降盐效果。

综上所述,种植并翻压绿肥可有效改善土壤养分状况,降低土壤盐含量<sup>[29-31]</sup>,本研究侧重于比较绿肥种植前与各绿肥种植季之间滩涂土壤基本性状的变化,未做与不种植绿肥滩涂土壤之间的比较,今后将在这方面开展进一步的研究。

## 4 结 论

蚕豆、田菁、黑麦草 3 种绿肥在沿海滩涂均具有较强的适应性,其中以黑麦草的种植效果最好,生物量呈逐年增加趋势,第 5 季生物量达 76.6 t/hm<sup>2</sup>。2 种轮作模式下,每季田菁生物量相差不大。LS 轮作模式下 5 季绿肥碳、氮、磷、钾养分累积总量和还田总生物量较 VS 轮作模式分别增加 27.8%、9.8%、33.6%、27.1%和 37.5%。

LS、VS 轮作模式下,1~5 季绿肥翻压后土壤 pH 值为 8.02~8.26,较种植前的 8.01 有所升高。土壤有机碳、全氮、碱解氮、有效磷含量分别较种植前增加 17.7%~99.6%、6.90%~100.00%、53.6%~158.0% 和 1.39%~71.26%,且均以 LS 轮作模式下效果较优,而速效钾含量也仅在 LS 轮作模式下明显增加。2 种轮作模式下,土壤水溶性盐总量在前 3 季逐渐下降至 1 g/kg 以下,后 2 季又呈上升态势。可见,LS 轮作模式下种植绿肥并翻压还田可有效改善沿海滩涂土壤养分与盐分状况,提升滩涂土壤质量。

## 参考文献:

- [1] 王 建. 江苏省海岸滩涂及其利用潜力[M]. 北京:海洋出版社,2012.
- [2] 许能祥,顾洪如,丁成龙,等. 多花黑麦草耐盐性及其在盐土条件下饲用品质的研究[J]. 草业学报, 2013, 22(4): 89-98.
- [3] 朱小梅,王甫同,邢锦城,等. 田菁翻压还田对滩涂土壤碳氮及微生物生物量的影响[J]. 土壤, 2021, 53(3): 529-536.
- [4] 曹卫东,包兴国,徐昌旭,等. 中国绿肥科研 60 年回顾与未来展望[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(6): 1450-1461.
- [5] 陈子英,孙小凤,韩 梅,等. 国内外绿肥研究进展[J]. 青海农林科技, 2020(3): 54-58.
- [6] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [7] 曾 妮,蔡 艳,李寒松,等. 氮肥减施下翻压冬季绿肥对川东玉米地土壤养分的影响[J]. 四川农业大学学报, 2021, 39(6): 799-806.
- [8] 刘 阳,习向银,袁尚鹏,等. 蚕豆绿肥利用方式对紫色土氮素矿化和硝化特征的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(2): 30-37.
- [9] 杨文叶,王 忠,李 丹,等. 不同冬绿肥对水稻田土壤有机质及酸碱度的影响[J]. 浙江农业科学, 2017, 58(2): 239-240.
- [10] 陆泰良,陆安祥,阳爱民,等. 广西桂林市主要桃园土壤养分状况及重金属、抗生素污染评价[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(19): 232-241.
- [11] 李朝生,田丹丹,覃柳燕,等. 香蕉套种黑皮冬瓜对香蕉枯萎病的防控效果及土壤微生物群落的影响[J]. 南方农业学报, 2021, 52(5): 1238-1245.
- [12] 张祥会,马晓晓,董 斌,等. 不同氮钾互作下甘蔗生长表现及土壤养分变化[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(18): 95-102.
- [13] 毛 伟,曾洪玉,李文西,等. 不同土壤肥力下有机氮部分替代化学氮对小麦产量构成及土壤养分的影响[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(5): 1189-1196.
- [14] 沈婧丽,杨建国. 滴灌条件下不同改良模式对碱化土壤性质和枸杞产量的影响[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(2): 343-349.
- [15] 丁姣龙,孟祥杰,王 忍,等. 长期应用稻蟹共生系统对土壤细菌群落结构及其多样性的影响[J]. 南方农业学报, 2021, 52(7): 1860-1868.
- [16] 赵 钰. 四种牧草对土壤生化性质的影响[D]. 兰州:兰州大学, 2010.
- [17] ZHANG X, ZHANG R, GAO J, et al. Thirty-one years of rice-rice-green manure rotations shape the rhizosphere microbial community and enrich beneficial bacteria[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2017, 104: 208-217.
- [18] 唐红琴,李忠义,曾成城,等. 不同绿肥种类和还田量对柑橘园土壤养分的动态影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(16): 214-219.
- [19] 邓小华,石 楠,周米良,等. 不同种类绿肥翻压对植烟土壤理化性状的影响[J]. 烟草科技, 2015, 48(2): 7-10.
- [20] AGHILI F, GAMPER H A, EIKENBERG J, et al. Green manure addition to soil increases grain zinc concentration in bread wheat [J]. PLoS One, 2014, 9(7): e101487.
- [21] 樊志龙,柴 强,曹卫东,等. 绿肥在我国旱地农业生态系统中的服务功能及其应用[J]. 应用生态学报, 2020, 31(4): 1389-1402.
- [22] HELFRICH M, LUDWIG B, POTTHOFF M, et al. Effect of litter quality and soil fungi on macroaggregate dynamics and associated partitioning of litter carbon and nitrogen[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2008, 40(7): 1823-1835.
- [23] 张 春. 夏闲期种植不同绿肥作物对土壤性状及冬小麦生长的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2013.
- [24] 秦俊豪,温 莹,李君菲,等. 绿肥植物田菁的化感效应及对土壤肥力的影响[J]. 土壤, 2015, 47(3): 524-529.
- [25] 杨滨娟,黄国勤,王 超,等. 稻田冬种绿肥对水稻产量和土壤肥力的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(10): 1209-1216.
- [26] ABBOUD F Y, FAVARETTO N, MOTTA A, et al. Phosphorus mobility and degree of saturation in oxisol under no-tillage after long-term dairy liquid manure application[J]. Soil and Tillage Research, 2018, 177: 45-53.
- [27] 申午艳,冯政君,秦文芳,等. 盐碱胁迫下黑麦草生长及离子微区分布特征[J]. 草业学报, 2020, 29(2): 52-63.
- [28] 朱小梅,王建红,赵宝泉,等. 不同盐分土壤环境下绿肥腐解及养分释放动态研究[J]. 水土保持学报, 2018, 32(6): 309-314.
- [29] 刘 慧,李子玉,白志贵,等. 油菜绿肥翻压还田对新疆盐碱土壤的改良效果研究[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(6): 914-923.
- [30] 黄海洋. 北方半干旱地区盐碱地上高丹草利用方式的应用研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2017.
- [31] 张国发,吴园园,徐太海,等. 田菁秸秆还田对松嫩平原盐碱土改良效果的研究[J]. 大庆师范学院学报, 2018, 38(3): 48-50.

(责任编辑:王 妮)