

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2021.03.012

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. 土壤, 2021, 53(3): 529–536.

## 田菁翻压还田对滩涂土壤碳氮及微生物生物量的影响<sup>①</sup>

朱小梅<sup>1</sup>, 王甫同<sup>2</sup>, 邢锦城<sup>1</sup>, 王建红<sup>3</sup>, 刘冲<sup>1</sup>, 赵宝泉<sup>1</sup>, 温祝桂<sup>1</sup>, 董静<sup>1</sup>, 贺亭亭<sup>1</sup>, 洪立洲<sup>1\*</sup>

(1 江苏沿海地区农业科学研究所, 江苏盐城 224002; 2 江苏盐城湿地珍禽国家级自然保护区, 江苏盐城 224300; 3 浙江省农业科学院, 杭州 310021)

**摘要:** 为探讨不同施肥处理下田菁翻压还田对滩涂土壤的改良效果, 通过田间小区试验对不同施肥处理(CK、SN1、SN2、SN3、SN4 及 SN4+OF 对应的施氮量分别为 N 0、90、135、180、225 kg/hm<sup>2</sup> 及 N 225 kg/hm<sup>2</sup>+有机肥)下田菁生物量、碳氮养分含量及翻压还田对土壤碳氮、微生物生物量的影响及各指标间的相关性进行了研究。结果表明: SN3 处理对提高田菁总生物量及两次刈割地上部碳氮含量效果明显。SN4+OF 处理下田菁翻压还田后土壤有机碳、全氮及固定态铵含量明显提升, 分别为 6.44 g/kg、0.62 g/kg 和 40.1 mg/kg, 土壤活性有机碳、硝态氮、铵态氮、微生物生物量碳氮(MBC、MBN)含量及碳库管理指数(CPMI)均以 SN2 处理下田菁翻压还田效果较优。土壤 C/N、MBC/MBN 比值分别以 SN4+OF 和 SN2 处理下田菁翻压还田最高。因此, SN3 处理可明显提高田菁生物量和碳氮养分含量, 而田菁翻压还田效果则以 SN2 及 SN4+OF 处理较优。

**关键词:** 施肥处理; 田菁; 翻压还田; 土壤碳氮; 土壤微生物生物量

中图分类号: S147.2; S158.3 文献标志码: A

### Effects of Overturning *Sesbania cannabina* on Soil Carbon, Nitrogen and Microbiological Biomass in Coastal Area

ZHU Xiaomei<sup>1</sup>, WANG Futong<sup>2</sup>, XING Jingcheng<sup>1</sup>, WANG Jianhong<sup>3</sup>, LIU Chong<sup>1</sup>, ZHAO Baoquan<sup>1</sup>, WEN Zhugui<sup>1</sup>, DONG Jing<sup>1</sup>, HE Tingting<sup>1</sup>, HONG Lizhou<sup>1\*</sup>

(1 Institute of Agriculture Sciences in the Coastal Area Jiangsu, Yancheng, Jiangsu 224002, China; 2 Jiangsu Yancheng Wetland Rare Birds National Nature Reserve, Yancheng, Jiangsu 224300, China; 3 Zhejiang Academy of Agriculture Sciences, Hangzhou 310021, China)

**Abstract:** A field experiment was conducted to explore the effects of overturning *Sesbania cannabina* on the improvement of soil in coastal area, the biomass, carbon and nitrogen contents of *Sesbania cannabina* under different fertilization treatments (CK, N 0 kg/hm<sup>2</sup>; SN1, N 90 kg/hm<sup>2</sup>; SN2, N 135 kg/hm<sup>2</sup>; SN3, N 180 kg/hm<sup>2</sup>; SN4, N 225 kg/hm<sup>2</sup>; SN4+OF, N 225 kg/hm<sup>2</sup>+organic fertilizer), microbiological biomass, carbon and nitrogen contents of soil were determined, and the correlations between soil properties and plant indexes were analyzed. The results showed that SN3 got the highest total biomass, and nitrogen and carbon contents in twice mowing of *Sesbania cannabina*. SN4 + OF had the highest contents of soil organic carbon, total nitrogen and fixed ammonium, which were 6.44 g/kg, 0.62 g/kg and 40.1 mg/kg, respectively. SN2 had the highest contents of active organic carbon, nitrate nitrogen, ammonium nitrogen, microbial biomass carbon (MBC) and nitrogen (MBN) and CPMI. SN4 + OF and SN2 got the highest ratios of soil C/N and MBC/MBN. In conclusion, SN3 can significantly increase the biomass, carbon and nitrogen contents of *Sesbania cannabina*, and SN2 and SN4+OF have the better effect on soil improvement.

**Key words:** Fertilization treatments; *Sesbania cannabina*; Overturning; Soil carbon and nitrogen; Soil microbiological biomass

据统计,我国现有滩涂面积 350 多万 hm<sup>2</sup>,而江苏沿海滩涂面积约 68.7 万 hm<sup>2</sup>,且每年仍以 0.13 万 hm<sup>2</sup> 的速度向东淤进,这一广袤的滩涂资源是我国东部地

区最具潜力、最有价值的土地后备资源<sup>[1]</sup>。江苏沿海滩涂地势平坦、土层深厚、湿地繁多,农业利用是滩涂资源开发利用的重点,而滩涂垦区盐土资源的脱盐

①基金项目: 国家绿肥产业技术体系项目(CARS-22-G-15)和农业部沿海盐碱地科学观测实验站开放课题(YHS201804)资助。

\* 通讯作者(ychonglz@163.com)

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盐土改良利用研究。E-mail: xiaomeizhu301@163.com

和改良则是农业开发利用的基础<sup>[2]</sup>。近年来,沿海滩涂大部分新围垦生地采取的是农业工程措施脱盐,但由于生地土壤有机质缺乏,且地下水位较高,土壤返盐严重。目前,通过大量施用有机肥或沼液也可达到快速提升滩涂生地土壤质量的目的,但有机肥或沼液的大量施用存在着重金属、抗生素累积超标等风险,会对滩涂生态环境产生一定的潜在威胁。

田菁属草本植物,具有较强耐旱、耐盐、耐涝、耐瘠和固氮能力<sup>[3]</sup>。研究表明,在含盐量为 8 g/kg 的重度盐渍土上种植田菁,其生物量能达到正常土壤中的 95%<sup>[4]</sup>。很多学者在田菁作绿肥改良滩涂盐碱土及修复盐渍化土壤方面开展了大量研究,主要集中在田菁栽培、结瘤固氮和翻压还田对土壤基本理化性状的影响等领域<sup>[3-6]</sup>,但在田菁刈割及翻压还田对滩涂生地土壤氮库及碳库养分的影响方面还没有系统的报道。本研究以田菁为供试绿肥作物,研究施肥对绿肥田菁生物量的影响及滩涂土壤碳氮组分、微生物生物量和碳库管理指数等对田菁翻压还田的响应机制,以期为绿肥资源的合理利用及滩涂土壤的快速改良提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于 2018 年 6 月到 8 月在江苏省东台市弼港镇东部条子泥北十一区进行,地理位置 32°51'6" N、120°53'31" E。该区地处暖温带,属于具有季风特点的海洋性气候,年均气温 13 ~ 16 °C,无霜期 208 ~ 220 d,年日照时数 2 100 ~ 2 600 h,年均降雨量 900 ~ 1 300 mm,有明显的梅雨特征。供试土壤为滨海盐潮土,基本性状见表 1。

表 1 供试土壤基本性状  
Table 1 Basic physiochemical properties of tested soil

指标	结果	指标	结果
pH	7.93	全氮(g/kg)	0.37
有机碳(g/kg)	3.44	铵态氮(mg/kg)	14.5
活性有机碳(g/kg)	1.25	硝态氮(mg/kg)	26.3
有效磷(mg/kg)	14.1	微生物生物量氮(mg/kg)	24.7
速效钾(mg/kg)	356.5	微生物生物量碳(mg/kg)	173.8
盐离子总量(g/kg)	2.76	固定态铵(mg/kg)	11.4

### 1.2 试验设计

供试绿肥田菁,品种为盐菁胶 1 号。供试肥料为尿素(含 N 460 g/kg)、过磷酸钙(含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 120 g/kg)、硫酸钾(含 K<sub>2</sub>O 520 g/kg)和植物素有机肥(有机质含量 460 g/kg)。上茬作物为黑麦草,并全部翻压还田。根据前人试验研究结果<sup>[7-9]</sup>,本试验设 6 个处理(表 2),

每处理 4 次重复,随机区组排列,每小区面积 4 m×6 m,以不施肥处理为对照(CK),施用有机肥处理为 SN4+OF。磷肥、钾肥及氮肥的 50% 作基肥一次施入。2018 年 6 月上旬播种,7 月下旬田菁高度 1.5 m 左右时进行第一次刈割,刈割部分测产后还田,并将剩余 50% 氮肥撒施追入。8 月底田菁盛花期进行第二次刈割,并分别测定刈割部分和根部生物量后粉碎、翻压,同时采集植株样品烘干后供植株碳氮含量的测定。9 月底采集 0 ~ 20 cm 土壤,部分鲜样用于测定铵态氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)、硝态氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)、微生物生物量碳氮(MBC、MBN)含量,部分土样风干、研磨、过筛用于测定土壤全氮(TN)、固定态铵、有机碳(TOC)及活性有机碳(AOC)含量。

表 2 试验方案和施肥量(kg/hm<sup>2</sup>)  
Table 2 Experiment scheme and fertilization applying rates

处理	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	有机肥
CK	0	0	0	0
SN1	90	90	75	0
SN2	135	90	75	0
SN3	180	90	75	0
SN4	225	90	75	0
SN4+OF	225	90	75	9 000

### 1.3 测定项目和方法

植株碳氮含量和土壤全氮、有机碳含量用常规方法测定<sup>[10]</sup>。其中,土壤铵态氮采用靛酚蓝比色法测定,硝态氮采用紫外分光光度法测定<sup>[10]</sup>,固定态铵采用 Silva 和 Bremer 法测定<sup>[11]</sup>,微生物生物量碳氮采用氯仿熏蒸-K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 浸提法测定<sup>[12-13]</sup>,活性有机碳采用 0.2 mol/L (1/6 K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>+1:3H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 水:酸=3:1)加热法测定<sup>[14]</sup>。

土壤碳库管理指数(CPMI)计算方法:①土壤碳库指数(CPI)=土壤样品总碳含量/原始土样总碳含量;②土壤碳库活度(A)=土壤活性有机碳含量/土壤非活性有机碳含量;③土壤碳库活度指数(AI)=土壤样品碳库活度/原始土样碳库活度;④土壤碳库管理指数(CPMI, %)=土壤碳库指数(CPI)×碳库活度指数(AI)×100<sup>[15]</sup>。

### 1.4 数据处理与分析

试验数据采用 Excel 2010 和 SPSS19.0 进行处理与统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理下田菁绿肥还田生物量

从表 3 数据可知,随施氮量的增加,第一次刈割田菁生物量呈先上升再下降的趋势,且以 SN3 处理

明显高于其他处理, 原因在于 SN3 处理的基肥施用量有利于田菁前期的营养生长。SN4、SN4+OF 处理前期施肥量偏高, 田菁生长反而受到抑制。田菁第二次刈割生物量以 SN4+OF 处理最高, 根部生物量以

SN4 处理最高, 这与上茬绿肥还田的基础肥力作用下, SN4 处理的追肥量明显促进刈割后田菁营养生长有关。田菁总生物量高低以处理 SN3>SN4>SN4+OF>SN2>SN1>CK。

表 3 田菁刈割及翻压还田总生物量(kg/hm<sup>2</sup>)  
Table 3 Biomass of *Sesbania cannabina* in twice mowing and overturning

处理	第一次刈割生物量	第二次刈割生物量	根部生物量	总生物量
CK	9 116 ± 420 b	14 507 ± 1 167 b	9 282 ± 1 085 b	32 905 ± 1 874 b
SN1	10 616 ± 420 ab	17 231 ± 2 563 ab	10 561 ± 1 229 ab	38 408 ± 3 585 ab
SN2	12 340 ± 1 501 a	17 787 ± 1 620 ab	10 505 ± 1 041 ab	40 631 ± 2 585 a
SN3	12 617 ± 1 398 a	19 399 ± 1 252 ab	11 950 ± 7 700 ab	43 966 ± 2 458 a
SN4	11 228 ± 631 a	19 065 ± 2 659 ab	12 617 ± 674 a	42 910 ± 2 649 a
SN4+OF	11 061 ± 1 711 ab	19 899 ± 4 574 a	11 395 ± 2 111 ab	42 355 ± 5 843 a

注: 同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ ); 下同。

## 2.2 不同施肥处理下田菁绿肥植株碳氮含量

从表 4 可以看出, 田菁植株碳、氮含量均以第一次刈割地上部>第二次刈割地上部>根部。两次刈割地上部碳含量及各部位平均值均以 SN2 处理最高, 根部以 SN1 处理最高。随着施氮量增加, 田菁两次刈割地上部和根部碳含量均呈上升-下降-上升的趋势。两次刈割地上部氮含量及各部位平均值均以

SN3 处理最高, 根部以 SN1 处理最高。可见, SN3 处理有利于田菁植株含氮化合物的合成及向地上部的转移, SN4+OF 处理两次刈割地上部氮含量较 SN2、SN3、SN4 处理偏低, 究其原因: 一是有机肥与化肥一次性施入养分浓度过高, 抑制了植株对氮素的吸收; 二是 SN4+OF 处理生物量偏大对养分的稀释作用。

表 4 田菁植株碳、氮含量(g/kg)  
Table 4 Carbon and nitrogen contents of *Sesbania cannabina*

营养元素	处理	第一次刈割地上部	第二次刈割地上部	根部	平均值
碳	CK	524 ± 9 c	485 ± 1 c	418 ± 6 ce	477 ± 1 c
	SN1	525 ± 1 bc	492 ± 4 abc	439 ± 1 a	487 ± 3 ab
	SN2	550 ± 9 a	500 ± 6 a	430 ± 4 ab	497 ± 3 a
	SN3	536 ± 2 abc	496 ± 10 ab	425 ± 9 bcde	488 ± 8 ab
	SN4	534 ± 12 abc	487 ± 3 bc	428 ± 6 bcd	482 ± 4 bc
	SN4+OF	542 ± 15 ab	495 ± 4 ab	429 ± 2 bc	490 ± 9 ab
氮	CK	31.0 ± 0.5 b	22.6 ± 0.4 b	8.2 ± 0.2 d	20.9 ± 0.5 b
	SN1	31.6 ± 1.3 ab	23.8 ± 0.1 a	9.0 ± 0.1 a	21.9 ± 0.2 ab
	SN2	31.7 ± 0.4 ab	24.0 ± 0.2 a	8.7 ± 0.2 abc	22.4 ± 0.4 a
	SN3	32.7 ± 0.1 a	24.6 ± 0.3 a	8.6 ± 0.1 bc	22.6 ± 0.3 a
	SN4	32.5 ± 0.4 ab	24.4 ± 0.3 a	8.5 ± 0.1 cd	21.8 ± 0.5 ab
	SN4+OF	31.1 ± 1.3 ab	23.9 ± 0.9 a	8.9 ± 0.5 ab	21.8 ± 0.5 ab

## 2.3 不同施肥处理下田菁植株碳氮比

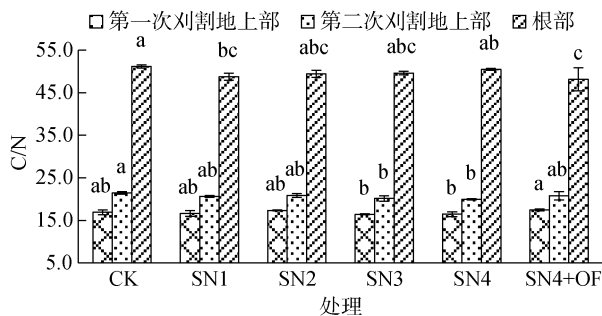
碳氮比(C/N)是绿肥分解时提供有效氮的重要指标, C/N 比值越小, 氮素有效性越高<sup>[3]</sup>。由图 1 可知, 田菁两次刈割地上部的 C/N 比分别为 16~18 和 20~22, 根部为 48~52, 说明刈割部分还田后的氮素矿化率要高于根部, 为下茬作物提供的有效氮也更多。相对于两次刈割地上部及根部的 C/N 比, 各施肥处理间 C/N 比并无显著差异, 可见, 施肥对田菁 C/N 比的

影响小于田菁自身组织结构及生育期对其的影响。

## 2.4 不同施肥处理下田菁绿肥还田对土壤有机碳及相关指标的影响

表 5 数据显示, 不同施肥处理下田菁还田后土壤有机碳含量以 SN4+OF 处理明显高于其他施肥处理, 这与前期施用的有机肥有密切关系。土壤活性有机碳含量及 CPMI 值均以 SN2 处理最高, 微生物生物量碳含量也以 SN2 处理显著高于其他处理。可见,

SN2 处理下的田菁还田量对土壤培肥作用优于其他处理。



(图中不同小写字母表示同时期同部位各处理在  $P < 0.05$  水平差异显著)

图 1 不同施肥处理下田菁植株 C/N 比  
Fig. 1 C/N ratios of *Sesbania cannabina* under different fertilization treatments

## 2.5 不同施肥处理下田菁绿肥还田对土壤全氮及其组分的影响

表 6 中,不同施肥处理下田菁绿肥还田后土壤全氮含量以 SN4+OF 处理显著高于其他处理。土壤固定态铵含量按显著性划分以 SN4+OF 和 SN4 > SN3、

SN2 和 SN1 > CK。土壤微生物生物量氮、硝态氮及铵态氮含量均以 SN2 处理最高。田菁绿肥还田量最高的 SN3 处理,各形态氮含量均低于 SN2 处理(除全氮外),这与 SN3 处理下田菁总还田生物量过大产生的负效应使土壤微生物的活性及氮的矿化受到抑制有关。

## 2.6 不同施肥处理下田菁绿肥还田对土壤碳氮比、微生物生物量碳氮比及微生物熵的影响

研究表明,我国耕作表层土壤 C/N 比为 8~15,平均在 10~12<sup>[16]</sup>。图 2 显示,不同施肥处理下田菁绿肥还田后土壤 C/N 比在 9.8~10.4,基本达到平均水平,其中以 SN4+OF 处理最高,SN2 处理次之,但各处理间差异不显著。田菁绿肥翻压还田后土壤微生物生物量碳氮比(MBC/MBN)在 5.9~6.3,且以 SN2 处理明显高于其他处理。土壤微生物熵为土壤微生物生物量碳含量和有机碳含量的比值(MBC/TOC),是表征土壤微生物固碳效益的指标,微生物熵值越大,微生物固定的有机碳越多,土壤有机碳周转越快<sup>[17]</sup>。从图 3 可知,田菁还田后,土壤微生物熵在 40~49,且以 SN1 处理最高,SN4 和 SN4+OF 处理较低。

表 5 田菁还田对土壤有机碳(TOC)、活性有机碳(AOC)、微生物生物量碳(MBC)及碳库管理指数 CPMI 的影响  
Table 5 Effects of overturning *Sesbania cannabina* on soil TOC, AOC, MBC contents and CPMIs

处理	TOC(g/kg)	AOC(g/kg)	MBC(mg/kg)	CPMI(%)
CK	5.30 ± 0.60 b	1.77 ± 0.12 b	247.9 ± 10.4 d	136.1 ± 4.8 b
SN1	5.43 ± 0.69 ab	1.82 ± 0.21 b	253.2 ± 5.1 bc	140.3 ± 8.6 b
SN2	5.63 ± 0.71 ab	2.05 ± 0.24 a	268.3 ± 9.2 a	165.1 ± 7.7 a
SN3	5.54 ± 0.58 ab	1.94 ± 0.28 ab	252.0 ± 4.2 cd	153.6 ± 18.0 ab
SN4	5.41 ± 1.03 ab	1.86 ± 0.19 ab	257.8 ± 9.3 b	147.4 ± 15.0 ab
SN4+OF	6.44 ± 1.20 a	1.98 ± 0.29 ab	257.3 ± 8.9 b	149.6 ± 22.3 ab

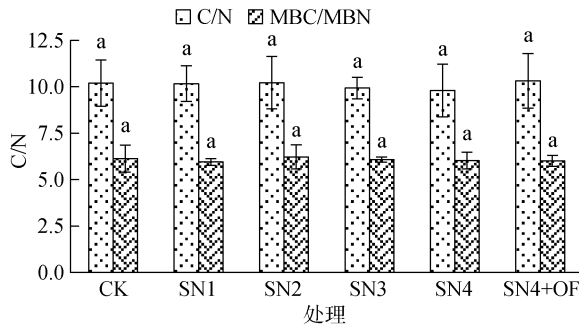
表 6 田菁还田对土壤全氮(TN)及其组分含量的影响  
Table 6 Effects of overturning *Sesbania cannabina* on soil TN and its fraction contents

处理	TN(g/kg)	MBN(mg/kg)	NO <sub>3</sub> -N(mg/kg)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N(mg/kg)	固定态铵(mg/kg)
CK	0.52 ± 0.04 b	40.7 ± 3.1 c	68.0 ± 0.2 b	18.8 ± 0.1 b	35.6 ± 1.9 b
SN1	0.53 ± 0.03 b	42.6 ± 0.4 ab	69.3 ± 1.1 b	20.4 ± 0.4 a	36.9 ± 0.7 ab
SN2	0.55 ± 0.03 b	43.3 ± 3.0 a	73.0 ± 1.5 a	20.6 ± 0.4 a	37.8 ± 2.2 ab
SN3	0.56 ± 0.06 b	41.4 ± 0.3 bc	69.2 ± 0.1 b	20.0 ± 1.5 ab	36.8 ± 3.0 ab
SN4	0.55 ± 0.08 b	42.9 ± 1.6 ab	71.1 ± 2.1 ab	19.9 ± 1.0 ab	39.8 ± 2.4 a
SN4+OF	0.62 ± 0.04 a	42.8 ± 0.6 ab	69.0 ± 3.8 b	19.9 ± 0.7 ab	40.1 ± 0.6 a

## 2.7 田菁植株碳氮及土壤中不同形态碳氮间的相关性

相关性分析表明,植株生物量与植株氮含量、植株碳含量与土壤微生物生物量碳及土壤铵态氮含量、植株氮含量与土壤铵态氮含量、土壤微生物生物量碳含量与土壤活性有机碳及微生物生物量

氮含量间存在显著正相关关系,植株碳含量与土壤活性有机碳含量、土壤有机碳含量与土壤全氮含量、土壤微生物生物量碳含量与土壤硝态氮含量两两之间存在极显著正相关关系。可见,植株碳氮含量及土壤中不同形态碳氮含量之间均存在一定的正相关关系。



(图中不同小写字母表示同一指标不同处理差异在  $P < 0.05$  水平显著, 下同)

图 2 田菁还田对土壤碳氮比及微生物生物量碳氮比的影响

Fig. 2 Effects of overturning *Sesbania cannabina* on soil C/N ratio and soil microbial biomass C/N ratio

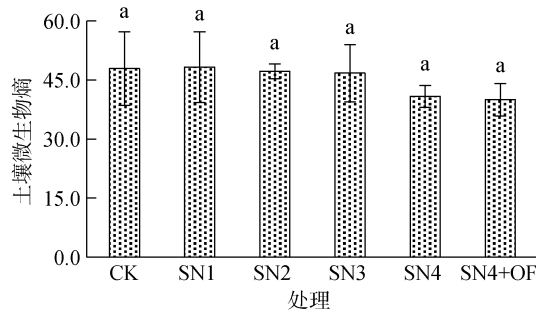


图 3 田菁还田对土壤微生物熵的影响

Fig. 3 Effects of overturning *Sesbania cannabina* on soil microbial quotient

### 3 讨论

#### 3.1 不同施肥处理对田菁绿肥生物量、碳氮含量及碳氮比的影响

田菁为豆科灌木状草本植物,具有较强的固氮能力,前人在氮肥施用对田菁生长、结瘤固氮影响方面

的研究均表明,施用氮肥可促进田菁生长<sup>[7-9]</sup>。有学者报导,在含盐量为 4.32 g/kg 的重度盐渍化土壤上,单施氮、磷肥对促进耐盐植物田菁生长的效果没有单施磷石膏显著,但与不施肥处理相比,生物量仍有增加<sup>[7]</sup>。又有研究表明,在盐分含量为 1.68 g/kg 的盐渍土上种植田菁,磷肥施用量相同的情况下,氮肥施用量为 360 kg/hm<sup>2</sup> 时的田菁产量最高<sup>[8]</sup>。本试验研究结果与二者基本一致,与对照相比,施用氮肥显著提高田菁生物量,且施用量为 180 kg/hm<sup>2</sup> 时生物量最高,这与本试验前茬翻压过一季绿肥黑麦草有关。本试验中,不同施氮处理下田菁的根瘤量很少甚至没有结瘤,这与前人有关无机氮肥施用后,根瘤植物往往优先吸收环境中的复合态氮,从而使根瘤植物的结瘤和固氮作用受到抑制的研究结论吻合<sup>[9]</sup>。

资料显示,田菁植株碳含量为 463 g/kg,氮含量为 18.9 g/kg, C/N 比为 24.5<sup>[18]</sup>,本研究中田菁植株平均碳含量为 477~497 g/kg,氮含量为 20.9~22.6 g/kg, C/N 比为 21~23,碳氮含量均较高,但 C/N 比却偏低,可能原因是本试验氮磷钾肥的配合施用促进了植株对碳氮特别是氮的吸收,从而使 C/N 比降低。本试验中,田菁第一次刈割地上部与第二次刈割地上部及根部间的碳、氮含量变化大于不同施肥处理间的变化。可见,植株本身特性与生育期是影响其碳氮含量及 C/N 比的主要因素,外界环境的干预对其碳氮相关指标无显著影响。

#### 3.2 不同施肥处理田菁绿肥还田对土壤碳氮及微生物生物量的影响

##### 3.2.1 不同施肥处理田菁绿肥还田对土壤有机碳及其组分的影响

土壤活性有机碳组分常用土壤可溶性有机碳、微生物生物量碳和易氧化有机碳等指标

表 7 田菁植株碳氮及土壤中主要碳氮组分间的相关系数

Table 7 Correlation coefficients between carbon, nitrogen of *Sesbania cannabina* and main components of soil carbon and nitrogen

	植株生物量	植株碳	植株氮	植株 C/N	TOC	MBC	AOC	TN	MBN	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	固定态铵
植株生物量	1.000											
植株碳	0.549	1.000										
植株氮	0.816*	0.797	1.000									
植株 C/N	-0.806	-0.425	-0.885*	1.000								
TOC	0.423	0.500	0.198	0.083	1.000							
MBC	0.430	0.815*	0.556	-0.209	0.298	1.000						
AOC	0.638	0.922**	0.741	-0.398	0.593	0.813*	1.000					
TN	0.618	0.471	0.305	-0.101	0.963**	0.307	0.616	1.000				
MBN	0.533	0.704	0.506	-0.232	0.408	0.851*	0.612	0.436	1.000			
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	0.561	0.838*	0.815*	-0.585	0.168	0.729	0.626	0.184	0.807	1.000		
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	0.405	0.652	0.556	-0.335	-0.041	0.931**	0.645	0.021	0.759	0.700	1.000	
固定态铵	0.663	0.331	0.248	-0.132	0.655	0.501	0.450	0.770	0.737	0.318	0.368	1.000

注: \*表示在  $P < 0.05$  水平显著相关; \*\*表示在  $P < 0.01$  水平显著相关。

来表征<sup>[19-20]</sup>。研究表明,绿肥鲜草含有大量活性较高的可溶性有机物料,翻压后可使土壤耕作层活性有机碳比重增加<sup>[21]</sup>。豆科、苜科、禾本科绿肥还田均可提高土壤活性有机碳含量,不论何种土壤,每年翻压 15 000 kg/hm<sup>2</sup> 的绿肥鲜草,5 年后土壤活性有机碳含量提高 17.4%<sup>[22-23]</sup>。本试验中,各处理田菁翻压还田后活性有机碳及微生物生物量碳含量较种植前的 1.25 g/kg 和 173.8 mg/kg 分别提高 41.6%~64.0% 和 42.6%~54.4%,充分验证了这一研究结论。这也与胡晓珊等<sup>[22]</sup>有关田菁翻压还田后显著增加 0~20 cm 土层活性有机碳含量的报道一致。

土壤碳库管理指数(CPMI)是指施肥处理土壤有机质与对照土壤有机质含量的比值乘以土壤有机质活度指数的值,是土壤管理措施引起土壤有机质变化的指标,能够反映农作措施使土壤质量下降或更新的程度<sup>[14-15]</sup>。CPMI 值的上升与下降,则分别表示外界管理或施肥措施对土壤性质的改良或破坏。张达斌等<sup>[14]</sup>的研究表明,两年度种植翻压豆科绿肥 23 000~30 000 kg/hm<sup>2</sup> 后,土壤 CPMI 值与休闲相比增加 2.7%~7.6%,且施氮量在 0~162 kg/hm<sup>2</sup> 范围内,各处理的 CPMI 值无显著差异。本研究结果显示,SN2 处理,即施氮量为 135 kg/hm<sup>2</sup> 时,田菁翻压还田后土壤 CPMI 值最高,为 165.1%,与对照相比,增加 21.3%,但随施氮量增加,土壤 CPMI 值呈下降趋势,说明单纯增加施氮量或绿肥翻压量,并不能使土壤性能向良性发展。施肥量过高使土壤 CPMI 值下降的原因在于:一是大量化肥的施用影响了微生物的生存环境,使其活性受到抑制,降低了土壤微生物生物量碳乃至活性有机碳水平;二是绿肥翻压生物量过大,超过土壤微生物对绿肥分解利用的最大承载量,使土壤非活性有机碳含量增加,进而降低土壤碳库活度指数,导致 CPMI 值下降。

**3.2.2 不同施肥处理田菁绿肥还田对土壤全氮及其组分的影响** 大量研究证明,种植翻压绿肥可提高土壤的全氮与速效氮含量<sup>[15,22]</sup>,而硝态氮和铵态氮是土壤速效氮的主要存在形态,同时也是植物可直接从土壤中吸收利用的最主要的两种无机氮源<sup>[24]</sup>。本试验中,不同施肥处理下田菁还田后的土壤硝态氮和铵态氮含量均较对照有所提高,但效果不显著,这是因为对照处理虽未施肥,但由于其上茬绿肥的还田作用及田菁本身的固氮作用,使其翻压还田的生物量增加,进而提高矿化的硝态氮和铵态氮含量。本研究中,田菁翻压后土壤铵态氮含量为 20 mg/kg 左右,比正常旱地土壤铵态氮含量稍高,而硝态氮含量为 68.0~

73.0 mg/kg,是正常肥力土壤硝态氮含量的 3 倍多<sup>[6]</sup>。这与前人豆科绿肥翻压后,土壤铵态氮含量提高不明显,硝态氮含量提高幅度较大,平均提高达 130.8% 的报道一致<sup>[25]</sup>。但马艳芹等<sup>[26]</sup>的研究表明,紫云英腐解 30 d 左右时的铵态氮与硝态氮含量均在 15~20 mg/kg,这可能与翻压绿肥种类、生物量、土壤水分、环境气候等条件因素不同有关。有研究表明,休闲期种植不同绿肥品种并翻压,可减少土壤氮素的淋溶损失<sup>[27]</sup>,而豆科绿肥翻压还田后,氮素矿化速率较快,绝大部分氮素养分的释放在翻压后前 2 周内完成<sup>[25-26]</sup>。本试验中氮素及各形态指标是翻压后 1 个月后的检测值,是否存在硝态氮的淋溶损失还有待进一步研究。

资料表明,生物固定(微生物生物量氮)和晶格固定(固定态铵)是土壤氮素固持的主要形式<sup>[28]</sup>。施肥和有机物的再循环可明显提高土壤耕作层固定态铵含量<sup>[29-30]</sup>。段鹏鹏等<sup>[31]</sup>的研究显示,相对于单施氮肥处理,单施有机肥或氮肥与有机肥配施可使土壤中固定态铵含量增加 34.6~91.8 mg/kg。本研究中,得益于氮肥施用和绿肥翻压的累加效应,土壤有机质的矿化和激发作用增强,使晶层间释放出的铵不断得到补充,各施肥处理田菁翻压后的土壤固定态铵含量与对照相比增加 3.37%~12.6%,且以前期施用有机肥的 SN4+OF 处理增幅最显著,进一步验证了前人的相关结论<sup>[29-31]</sup>。

**3.2.3 不同施肥处理田菁绿肥还田对土壤微生物生物量的影响** 适当的培肥措施可明显提高土壤微生物生物量碳、氮含量<sup>[32-33]</sup>。不同施肥处理田菁翻压还田后,土壤微生物生物量碳、氮含量与对照相比分别提高 1.67%~8.23% 和 1.78%~6.40%,且均以 SN2 处理最高,可见,该处理下的田菁还田量为土壤微生物生物量碳、氮提升的最适量。据报道,有机无机配施或施用生物有机肥可显著提高土壤微生物熵<sup>[34-36]</sup>。但也有研究表明,土壤微生物熵不受培肥措施和种植制度的影响<sup>[37]</sup>。本试验中,田菁翻压后土壤微生物熵与对照相比均有所下降(SN1 处理除外),且以 SN4 与 SN4+OF 处理降幅最大,分别为 14.8% 和 16.5%,这与前人的研究结论相悖。究其原因,一是以上处理施用化肥量较高,翻压前微生物生存环境受到影响,活性受到抑制;二是田菁生物量较高,翻压还田后腐解释放的大量碳、氮弱化了前期施入的有机肥对微生物熵的影响。

土壤 MBC/MBN 比是描述微生物群落结构和状态的指标之一,受土壤性质(水分、结构、pH 等)的影响,真菌占优势的群落 MBC/MBN 比为 7~12,而

细菌占优势时为 3~6<sup>[38]</sup>。肖新等<sup>[36]</sup>的研究表明,施用生物有机肥可显著降低土壤 MBC/MBN 比。而又有研究表示,秸秆的添加可减缓氮肥施用对土壤 MBC/MBN 比的降低效应<sup>[35]</sup>。本试验条件下,田菁翻压还田后土壤 MBC/MBN 比均在 5.9~6.3,较种植前的 7.0 明显降低,但各处理间无显著差异。可见,无论是生物有机肥、秸秆还是绿肥的添加,其作用都并非是单纯地降低或升高土壤 MBC/MBN 比,究其根本是通过对土壤性质的影响,调节了微生物数量和多样性,维持了微生物群落结构的稳定与均衡。

#### 4 结论

1) 磷钾肥施用量一致的情况下, SN3 处理(纯氮施用量为 180 kg/hm<sup>2</sup>)可明显提高田菁第一次刈割生物量及总生物量,而有机肥处理(SN4+OF)可增加田菁第二次刈割生物量。SN3 处理可同时提高田菁两次刈割部分的碳和氮含量,且 C/N 比较小。

2) 由于基施有机肥的效应,田菁翻压还田后土壤中有有机碳、全氮及固定态铵含量仍以 SN4+OF 处理最高。活性有机碳、硝态氮、铵态氮、微生物生物量碳氮含量及 CPMI 值均以 SN2 处理明显高于其他处理。可见,SN4+OF 处理下田菁翻压还田有利于土壤中碳氮养分的积累,而 SN2 处理下田菁翻压还田在土壤养分的生物有效性及土壤性能提升方面效果较优。

#### 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] 徐鹏程, 冷翔鹏, 刘更森, 等. 盐碱土改良利用研究进展[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(5): 293-298.

[3] 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.

[4] 李燕青, 孙文彦, 许建新, 等. 华北盐碱地耐盐经济作物筛选[J]. 华北农学报, 2013, 28(S1): 227-232.

[5] 任承钢, 李岩, 刘卫, 等. 高效双接种田菁修复黄河三角洲盐碱土壤研究[J]. 海洋科学, 2017, 41(5): 1-7.

[6] Becker M, Diekmann K H, Ladha J K, et al. Effect of NPK on growth and nitrogen fixation of *Sesbania rostrata* as a green manure for lowland rice (*Oryza sativa* L.)[J]. Plant and Soil, 1991, 132(1): 149-158.

[7] 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.

[8] 郭小倩, 朱广龙, 季中亚, 等. 密度和施氮量对盐碱地田菁生长生理特性及产量的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2019, 40(1): 20-25.

[9] 袁剑刚, 杨中艺. 氮肥和水分条件对长喙田菁生长、结瘤和固氮的影响[J]. 植物生态学报, 2003, 27(4): 472-476.

[10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.

[11] Silva J A, Bremner M J. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: 5. Fixed ammonium[J]. Soil Science Society of America Proceedings, 1966, 30: 587-594.

[12] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1987, 19(6): 703-707.

[13] Brookes P C, Landman A, Pruden G, et al. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1985, 17(6): 837-842.

[14] 张达斌, 姚鹏伟, 李婧, 等. 豆科绿肥及施氮量对旱地麦田土壤主要肥力性状的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(7): 2272-2281.

[15] 徐明岗, 于荣, 孙小凤, 等. 长期施肥对我国典型土壤活性有机质及碳库管理指数的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(4): 459-465.

[16] 文佩. 黄河三角洲盐渍化土壤氮转化过程及冬小麦幼苗氮利用研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2018.

[17] 黎嘉成, 高明, 田冬, 等. 秸秆及生物炭还田对土壤有机碳及其活性组分的影响[J]. 草业学报, 2018, 27(5): 39-50.

[18] 彭克明. 农业化学(总论)[M]. 北京: 农业出版社, 1982.

[19] Wang W, Lai D Y F, Wang C, et al. Effects of rice straw incorporation on active soil organic carbon pools in a subtropical paddy field[J]. Soil and Tillage Research, 2015, 152: 8-16.

[20] Zhu L Q, Hu N J, Zhang Z W, et al. Short-term responses of soil organic carbon and carbon pool management index to different annual straw return rates in a rice-wheat cropping system[J]. CATENA, 2015, 135: 283-289.

[21] 汪景宽, 李丛, 于树, 等. 不同肥力棕壤溶解性有机碳、氮生物降解特性[J]. 生态学报, 2008, 28(12): 6165-6171.

[22] 胡晓珊, 唐树梅, 曹卫东, 等. 温室夏闲季种植翻压绿肥对土壤可溶性有机碳氮及无机氮的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2015(3): 21-28.

[23] 解有仁, 马明呈, 田丰, 等. 箭筈豌豆腐解对土壤及枸杞生长的影响[J]. 青海大学学报(自然科学版), 2015, 33(2): 17-23.

[24] 张燕, 王百群, 何瑞清. 不同施肥下冬小麦生长过程中土壤矿质氮变化及其与冬小麦叶片 SPAD 值的关系[J]. 水土保持研究, 2016, 23(6): 78-82.

[25] 张媛媛. 绿肥腐解规律及玉米绿肥间种效益的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2011.

[26] 马艳芹, 杨文亭, 黄国勤. 不同施氮水平对紫云英腐解与土壤供氮特性的影响[J]. 南方农业学报, 2018, 49(9): 1745-1752.

[27] Sapkota T B, Askegaard M, Lægdsmand M, et al. Effects of catch crop type and root depth on nitrogen leaching and yield of spring barley[J]. Field Crops Research, 2012, 125: 129-138.

[28] 仇少君, 彭佩钦, 李玲, 等. 盆栽条件下红黄泥微生物量氮和固定态铵的动态变化[J]. 中国农业科学, 2007, 40(3): 524-531.

- [29] 高亚军, 黄东迈, 朱培立, 等. 稻麦轮作条件下长期不同土壤管理对氮素肥力的影响[J]. 土壤学报, 2000, 37(4): 456-463.
- [30] Lu C Y, Zhang X D, Chen X, et al. Fixation of labeled ( $^{15}\text{NH}_4$ ) $_2\text{SO}_4$  and its subsequent release in black soil of Northeast China over consecutive crop cultivation[J]. Soil and Tillage Research, 2010, 106(2): 329-334.
- [31] 段鹏鹏, 张玉玲, 丛耀辉, 等. 氮肥与有机肥配施协调土壤固定态铵与可溶性氮的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(6): 1578-1585.
- [32] 徐阳春, 沈其荣, 冉炜. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J]. 土壤学报, 2002, 39(1): 83-90.
- [33] 胡诚, 曹志平, 叶钟年, 等. 不同的土壤培肥措施对低肥力农田土壤微生物生物量碳的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(3): 808-814.
- [34] 骆坤, 胡荣桂, 张文菊, 等. 黑土有机碳、氮及其活性对长期施肥的响应[J]. 环境科学, 2013, 34(2): 676-684.
- [35] 马想, 黄晶, 赵惠丽, 等. 秸秆与氮肥不同配比对红壤微生物量碳氮的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(6): 1574-1580.
- [36] 肖新, 朱伟, 杜超, 等. 轮作与施肥对滁菊连作土壤微生物特性的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(6): 1779-1784.
- [37] 梁斌, 周建斌, 杨学云, 等. 不同培肥措施下种植制度及撂荒对土壤微生物量碳氮的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(2): 209-214.
- [38] de Vries F T, Hoffland E, van Eekeren N, et al. Fungal/bacterial ratios in grasslands with contrasting nitrogen management[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2006, 38(8): 2092-2103.