

# 不同冬绿肥翻压对土壤有机氮组分和氮素矿化的影响

赵秋<sup>1</sup>, 田秀平<sup>2</sup>, 周丽平<sup>1</sup>, 代雪宾<sup>2</sup>, 宁晓光<sup>1</sup>, 张新建<sup>1</sup>

(1.天津市农业科学院, 天津 300192; 2.天津农学院 农学与资源环境学院, 天津 300384)

**摘要:** [目的] 研究不同冬绿肥种植与翻压对土壤氮素供应能力的影响, 为改进华北地区冬绿肥种植技术, 提高作物产量和维持土壤生产力提供理论依据。[方法] 在天津市武清区设置大田冬绿肥/玉米轮作定位试验(2012—2019年)种植和翻压冬绿肥, 测定不同冬绿肥及组合处理即二月兰、毛叶苕子、黑麦、黑麦草、毛叶苕子与二月兰混播和毛叶苕子与黑麦混播土壤有机氮及组分含量; 同时进行室内培养试验, 测试不同处理土壤的有机氮矿化势( $N_0$ )和矿化量, 分析冬绿肥种植与翻压对土壤有机氮组分及矿化的影响(以冬闲处理为对照)。[结果] 与对照相比, 冬绿肥种植与翻压显著提高总有机氮含量(幅度为 3.05%~12.36%), 显著降低非酸解态有机氮含量(18.87~55.87 mg/kg)。冬绿肥处理  $N_0$  值在 189.15~245.90 mg/kg 之间, 比冬闲对照增加 14.16%~48.41%, 土壤矿化半衰期  $t_{1/2}$  比冬闲对照提高 22.57%~73.11%。所有处理室内培养 24 周矿化分解土壤有机氮主要组分为酸解总氮, 冬绿肥处理土壤酸解总氮矿化量比对照高 3.41~20.54 mg/kg, 矿化率比对照增加 7.96%~47.31%, 差异显著。[结论] 冬绿肥种植与翻压可显著增加土壤有机氮及其易矿化组分储量, 提高土壤可矿化氮量, 延长矿化周期, 促进土壤氮库更新, 提高土壤氮素供应能力。

**关键词:** 冬绿肥; 土壤有机氮组分; 氮矿化; 氮素供应能力; 天津市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2023)01-0078-06

中图分类号: 512.1

**文献参数:** 赵秋, 田秀平, 周丽平, 等. 不同冬绿肥翻压对土壤有机氮组分和氮素矿化的影响[J]. 水土保持通报, 2023, 43(1): 78-83. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.01.010; Zhao Qiu, Tian Xiuping, Zhou Liping, et al. Effect of different winter green manures on composition and mineralization of soil organic nitrogen [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(1): 78-83.

## Effect of Different Winter Green Manures on Composition and Mineralization of Soil Organic Nitrogen

Zhao Qiu<sup>1</sup>, Tian Xiuping<sup>2</sup>, Zhou Liping<sup>1</sup>, Dai Xuebin<sup>2</sup>, Ning Xiaoguang<sup>1</sup>, Zhang Xinjian<sup>1</sup>

(1. Tianjin Academy of Agricultural Sciences, Tianjin 300192, China;

2. College of Agronomy and Resources and Environment, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China)

**Abstract:** [Objective] The effects of different planting and overturning of winter green fertilizer on soil nitrogen supply capacity were studied in order to provide theoretical basis for improving planting technology of winter green fertilizer, increasing crop yield and maintaining soil productivity in North China. [Methods] A field experiment with a winter green manure-maize rotation was conducted at Wuqing District, Tianjin City from 2012 to 2019. The study also included indoor incubation experiments. The treatments included winter fallow, february orchid, vetch, rye, ryegrass, mixed vetch and february orchid, and mixed vetch and rye. Soil organic nitrogen content and its composition, soil organic nitrogen mineralization potential ( $N_0$ ), and mineralization amount were measured. The effects of winter green manure planting and incorporation on soil organic nitrogen composition and mineralization were analyzed with winter fallow used as the control. [Results] Compared with winter fallow, winter green manure significantly increased total organic nitrogen and acid hydrolysable organic nitrogen by 3.05%—12.36%. However, winter green manure significantly decreased the content of non-acid-decomposed organic nitrogen by 18.87—55.87 mg/kg.  $N_0$  was 189.15—245.90 mg/kg

收稿日期: 2022-01-23

修回日期: 2022-07-24

资助项目: 国家重点研发计划项目“旱地绿肥节肥减排与养分流失控制技术集成与应用”(2021YFD1700204); 财政部和农业农村部“国家现代农业产业技术体系”项目(CARS-22); 天津市农业科技成果转化项目(17YFNZNC00050)

第一作者: 赵秋(1977—), 女(汉族), 辽宁省阜新县人, 博士, 副研究员, 主要从事绿肥作物生产与利用研究。Email: qiuzhao\_2008@163.com。

通信作者: 田秀平(1965—), 女(汉族), 山东省泰安市人, 博士, 教授, 主要从事植物营养与施肥等方面的研究。Email: tian5418@sina.com。

in the treatments with winter green manure (14.16%—48.41% greater than the control), and, half-life was increased by 22.57%—73.11%. After 24 weeks of indoor culture, soil organic nitrogen for all treatments was mainly composed of acid hydrolysable organic nitrogen. The mineralization amount of acid hydrolyzed total nitrogen was 3.41—20.54 mg/kg greater in the winter green manure treatments than that in the control, and the mineralization rate was 7.96%—47.31% higher than that in the control, with significant differences. [Conclusion] Winter green manure planting and incorporation significantly increased soil organic nitrogen storage and mineralizable nitrogen content, and prolonged the mineralization cycle, thereby promoting the renewal of the soil nitrogen pool, and improving soil nitrogen availability.

**Keywords:** winter green manure; soil organic nitrogen components; soil nitrogen mineralization; soil nitrogen supply capacity; Tianjin City

绿肥是一种养分完全的生物肥源,在减施肥料、改良土壤、培肥地力、净化环境和保持生态平衡方面具有重要作用<sup>[1]</sup>。冬绿肥种植与应用主要集中在南方,近些年来,北方一年一茬粮食产区冬绿肥的推广应用进展迅速,冬绿肥品种主要有二月兰、毛叶苕子、黑麦草、黑麦等<sup>[2]</sup>。研究不同冬绿肥应用的特点及差异,可为农业生产中根据实际情况合理选择和应用冬绿肥品种提供理论依据。绿肥种植与利用可改变土壤结构及理化性质<sup>[3]</sup>,进而影响土壤氮库<sup>[4]</sup>,尤其是豆科绿肥作物的覆盖或者翻压可直接增加土壤氮素固持<sup>[5]</sup>,减少氮素流失<sup>[6]</sup>,改变土壤氮素周转<sup>[7]</sup>及后茬主作物氮素吸收<sup>[8]</sup>。

土壤全氮常被用来衡量土壤氮库大小,但因其库存量且变异系数小,因此,并不能准确反映土壤供氮能力的变化情况。有机氮是土壤氮库中的主要存在形式,在土壤全氮中占 95% 以上<sup>[9]</sup>。酸解态氮是土壤中易于被分解的有机态氮,对环境因素或耕作措施的响应极其敏感,其组成成分在微生物的作用下容易发生矿化分解,也容易被作物吸收利用,部分组分也容易发生淋失,这些组成成分与铵态氮、硝态氮同样关系着土壤肥力、作物氮素利用以及土壤氮素损失,进

而关系到土壤的供氮能力以及土壤氮库变化<sup>[10]</sup>。

已有的研究,多是施肥和耕作措施对土壤全氮或者速效氮含量影响研究,而对有机氮形态组成和矿化动力学研究较少,且主要集中在施用有机肥或者地表覆盖等耕作措施,鲜见对冬绿肥种植和翻压对土壤氮素组成及矿化方面的研究<sup>[11-15]</sup>。本研究以华北地区不同冬绿肥长期定位试验的土壤为研究对象,与冬闲对照作比较,对土壤有机氮及其组分、土壤供氮过程的差异进行了分析研究。从土壤氮素的转化和供应过程入手,了解冬绿肥种植条件下土壤的氮素矿化和供应特性,以期改进华北冬绿肥种植技术,提高作物产量和维持土壤生产力提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点

试验在天津市武清区现代农业科技创新基地(北纬 39°21', 东经 117°10', 海拔 3.6 m),该地区属于暖温带半湿润大陆性季风气候,年平均气温 11.6 °C,无霜期 203 d 左右,年降水量 586.1 mm。种植方式为玉米一年一熟制。供试土壤为潮土,土壤基本养分状况见表 1。

表 1 天津市武清区土壤基本理化性状

Table 1 Basic physical and chemical properties of soils in Wuqing District, Tianjin City

土层/ cm	有机质/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全磷/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全钾/ (g · kg <sup>-1</sup> )	碱解氮/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	有效磷/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	pH 值	EC/ (μs · cm <sup>-1</sup> )
0—20	15.47	1.15	0.63	18.56	70.52	18.29	224	8.28	162.75

### 1.2 试验设计

试验从 2012 年开始,采用田间小区试验,共设冬闲(CK),二月兰(OV),毛叶苕子(VR),黑麦草(RG),黑麦(SC),毛叶苕子二月兰混播(VR+OV)和毛叶苕子黑麦混播(VR+SC)7 个处理,每个处理 3 次重复,随机排列,试验小区区长 6 m,宽 3 m。每年 9 月中下旬玉米收获后播种冬绿肥,根据播种后绿肥冬春覆盖度确定不同处理的播种量,二月兰(OV)、毛叶

苕子(VR)、黑麦草(RG)、黑麦(SC)、毛叶苕子二月兰混播(VR+OV)和毛叶苕子黑麦混播(VR+SC)处理的播种量依次为 45.0,60.0,60.0,45.0,30.0+22.5,30.0+30.0 kg/hm<sup>2</sup>,冬闲区不播种绿肥。播种后灌出苗水,按照 30 t/hm<sup>2</sup> 喷灌形式灌溉,冬绿肥生长期不施肥料和农药,也不灌水,次年 4 月中下旬将冬绿肥收获,全部收获称重测定生物学产量后切碎成 2~3 cm 小段后翻压到深度 10—15 cm 土层中,然后

播种春玉米(纪元 1 号),玉米施肥量为  $K_2O$  225.00  $kg/hm^2$ ,  $N$  225.00  $kg/hm^2$ ,  $P_2O_5$  45.00  $kg/hm^2$ , 氮肥用尿素(含  $N46\%$ ), 1/3 作基肥,其余在玉米小喇叭口期追施,磷肥用磷酸二铵(含  $N18\%$ ,  $P_2O_5$  46%),钾肥为氯化钾(含  $K_2O$  60%),两者全部做基肥。

### 1.3 土壤样品采集及测定

在 2013 年和 2019 年玉米收获后在各小区内按照 S 形取样法用土钻采集耕层(0—20 cm)土样,每小区采集 5 个点为 1 个混合样,剔除石砾和植物残根等杂物,混合制样后分成 2 份。1 份于室温下阴干、粉碎,制备过 1 mm 和 0.25 mm 筛的样品,置于自封袋保存,土壤风干后进行有机氮分组,并对 2020 年土壤进行室内氮矿化培养试验。

### 1.4 培养试验

采用 Stanford<sup>[16]</sup> 和巨晓棠<sup>[17]</sup> 间歇淋洗好气培养法测定不同处理土壤氮素矿化位势( $N_0$ ),  $N_0$  可反映不同土壤氮素供应能力的相对高低。称取风干土 15.00 g 和等量石英砂(1~2 mm)混匀,加少量蒸馏水(2.8~3.2 ml),湿润后转入预先装有一个玻璃珠和 20 g 石英砂上垫一层玻璃丝的 60 ml 的注射器中,在其上铺少量玻璃丝和 20 g 石英砂,用 100 ml 的 0.01 mol/L  $CaCl_2$  溶液分 4 次淋洗土壤,淋洗后加入 25 ml 无 N 营养液,营养液由 0.002 mol/L  $CuSO_4 \cdot 2H_2O$ , 0.002 mol/L  $MgSO_4$ , 0.005 mol/L  $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$  和 0.002 5 mol/L  $K_2SO_4$  组成,用 parafilm 封口后置于 350 C 恒温培养箱中进行培养,分别在培养的第 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 18, 21, 24 周,用 100 ml 0.01 mol/L  $CaCl_2$  溶液分 4 次淋洗土壤,收集淋洗液测定铵态氮和硝态氮含量,两者之和为矿化氮量。用一级动力学模型模拟土壤氮矿化位势( $N_0$ )。

$$N_0 = N_t / (1 - 10^{-kt/2.303}) \quad (1)$$

式中: $k$  为矿化速率常数, $t$  为培养时间(周), $N_t$  为培养  $t$  时间内累积的矿质态氮量( $mg/kg$ ), $N_0$  为氮素矿化位势,即理论上可以矿化为无机氮的有机氮素量的最大值。

### 1.5 测定项目与方法

土壤基本理化性状指标采用常规法测定,淋洗液中铵态氮测定用纳氏试剂法测定<sup>[18]</sup>、硝态氮采用紫外分光光度法测定<sup>[19]</sup>,土壤有机态氮组分采用 Bremner 酸解法测定<sup>[20]</sup>。

### 1.6 数据分析

采用 Excel 2010 和 DPS 软件对数据进行统计分析和作图,利用 SPSS 21.0 进行显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 冬绿肥长期种植翻压后土壤有机氮组分变化

2013 年土壤全氮中酸解总氮平均为 867.23  $mg/kg$ , 占全氮的 74.81%,其余为非酸解氮,占全氮的 25.19%。酸解总氮中各形态氮含量平均值大小排列为:未知态氮(平均 253.65  $g/kg$ ,占土壤全氮的 21.41%)>氨基酸态氮(平均为 209.06  $g/kg$ ,占土壤全氮的 18.27%)>酰胺态氮(平均含量为 177.26  $g/kg$ ,占全氮的 14.99%)>氨基糖态氮(平均含量为 116.99  $g/kg$  占比最少,仅占土壤全氮 9.62%)(表 2)。2019 年土壤有机氮分组情况见表 3,从中看出,不同处理对土壤有机氮组分的累积有显著影响,冬绿肥处理土壤有机氮含量均显著高于冬闲对照,增加幅度为 3.05%~12.36%;与冬闲相比,冬绿肥处理酸解态总氮含量显著增加,幅度为 13.29%~21.79%,OV,VR+OV 处理比其他冬绿肥处理高 3.7%~8.51%,差异显著;氨基酸态氮含量以 OV,VR,VR+SC 处理较高,比 CK 和 VR+OV 处理高 20.79~43.04  $mg/kg$ ,比 RG 和 SC 处理高 15.73~18.74  $mg/kg$ ,差异显著;VR,OV, RG,VR+OV 和 VR+SC 处理氨基糖态氮含量比冬闲提高 21.04%以上,SC 处理氨基糖态氮比冬闲处理提高 6.26%,差异显著;与冬闲处理相比,冬绿肥处理酰胺态氮含量提高 2.48%~12.14%,未知态氮含量提高 3.19%~19.58%,差异显著。与冬闲 CK 处理相比,冬绿肥处理非酸解态有机氮含量显著降低 18.87~55.87  $mg/kg$ (VR 处理除外)。

表 2 2013 年土壤有机氮各组分含量

酸解总 N	氨基酸 N	氨基糖态 N	酰胺态 N	未知态 N	非酸态 N
867.23	209.06	116.99	177.26	253.65	292.01

### 2.2 冬绿肥处理土壤氮素矿化动力学过程

不同处理土壤氮矿化累积氮量与培养时间的关系见图 1。由图 1 可知,随着培养时间的延长,不同处理土壤氮累积矿化量不断增加,培养前 10 周矿化线较陡,矿化较强,矿化线在 10 周以后变缓,随着培养时间的增加,单位时间内矿化的有机氮数量逐渐减少。从培养之初到第 2 周,不同处理土壤的矿化氮累积量无明显差异,随着矿化时间延长,各处理之间累积矿化量差异逐渐显现,24 周培养结束后各处理氮素矿化累积量差异最大,其中二月兰处理最高,其次毛叶苕子和黑麦草处理。说明长期翻压冬绿肥不仅增加土壤有机氮量,同时土壤可矿化氮量显著提高。

表 3 2019 年土壤有机氮各组分含量

Table 3 The content of each component of soil organic nitrogen before cultivation in 2019

处 理	酸解总 N	氨基酸 N	氨基糖态 N	酰胺态 N	未知态 N	非酸态 N	有机氮量
CK	852.06±5.24 <sup>e</sup>	227.42±4.25 <sup>e</sup>	104.92±0.96 <sup>d</sup>	184.48±2.24 <sup>d</sup>	254.71±5.67 <sup>d</sup>	360.83±1.96 <sup>a</sup>	1 212.89±14.52 <sup>d</sup>
OV	1 020.95±8.96 <sup>ab</sup>	250.46±1.38 <sup>a</sup>	133.39±1.12 <sup>b</sup>	199.15±3.65 <sup>b</sup>	282.42±7.35 <sup>b</sup>	304.96±2.24 <sup>d</sup>	1 325.91±16.88 <sup>c</sup>
VR	1 001.21±4.35 <sup>b</sup>	249.93±2.22 <sup>a</sup>	139.41±2.52 <sup>a</sup>	199.78±0.85 <sup>b</sup>	304.57±2.31 <sup>a</sup>	361.54±3.07 <sup>a</sup>	1 362.75±25.24 <sup>a</sup>
RG	986.71±10.25 <sup>bc</sup>	232.86±1.56 <sup>b</sup>	129.42±1.11 <sup>bc</sup>	189.06±4.12 <sup>c</sup>	281.67±1.24 <sup>b</sup>	332.60±6.98 <sup>bc</sup>	1 319.31±11.52 <sup>c</sup>
VR+OV	1 037.74±7.25 <sup>a</sup>	227.80±2.23 <sup>c</sup>	135.98±1.32 <sup>b</sup>	206.87±1.52 <sup>a</sup>	308.55±4.55 <sup>a</sup>	312.61±4.25 <sup>c</sup>	1 350.35±15.44 <sup>b</sup>
VR+SC	976.83±12.38 <sup>c</sup>	248.59±1.58 <sup>a</sup>	127.00±2.35 <sup>bc</sup>	195.05±3.24 <sup>bc</sup>	263.49±2.88 <sup>c</sup>	341.96±6.62 <sup>b</sup>	1 318.79±18.35 <sup>c</sup>
SC	965.26±4.63 <sup>d</sup>	231.72±3.24 <sup>b</sup>	111.49±3.21 <sup>c</sup>	195.35±0.88 <sup>bc</sup>	262.84±3.74 <sup>c</sup>	284.59±3.42 <sup>e</sup>	1 249.85±22.10 <sup>b</sup>

注:①表中第一列的大写字母组合为 7 个处理;CK 为冬闲,OV 为二月兰,VR 为毛叶苕子,RG 为黑麦草,SC 为黑麦,VR+OV 为毛叶苕子与二月兰混播,VR+SC 为毛叶苕子与黑麦混播;②表中同列小写字母不同代表 5% 的显著差异,下同。

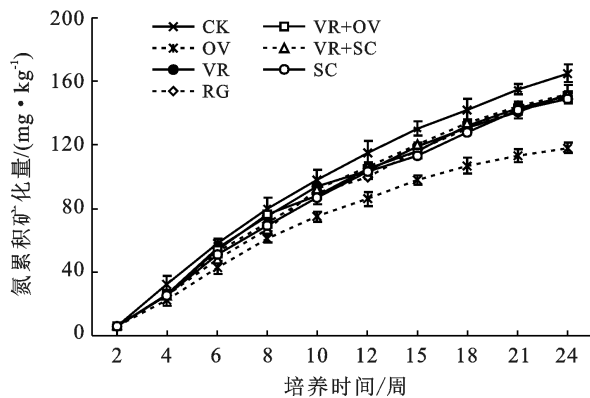


图 1 有机氮累积矿化量与培养时间的关系  
Fig.1 The relationship of cumulative N mineralization with incubation weeks

### 2.3 不同处理土壤氮矿化参数

采用一级动力学方程  $\{N_t = N_0 [1 - \exp(-kt)]\}$

拟合求得的土壤氮素矿化特征参数(表 4)。从表 4 中看出,冬绿肥处理土壤  $N_0$  值在 189.15~245.90 mg/kg 之间,比冬闲对照增加 14.16%~48.41%,差异显著,各处理  $N_0$  值由高到低的排列顺序为:VR+OV>VR>OV>RG>VR+SC>SC>CK;不同处理土壤氮矿化速率常数  $K$  值变化在(0.053~0.076)/周之间,平均为 0.062/周,VR+OV,VR,OV,RG 处理  $K$  值低于 CK,而 VR+SC 和 SC 处理  $K$  值高于 CK。表中  $t_{1/2}$  指的则是矿化到  $N_0$  值一半时所需要的时间,即为土壤可矿化有机氮的半衰期,冬绿肥处理土壤有机氮矿化的半衰期均比 CK 处理(VR 除外)提高 22.57%~73.11%,差异显著。综合  $N_0$ ,  $K$  和  $t_{1/2}$  值来判定土壤供氮能力,与冬闲相比,翻压冬绿肥处理土壤  $N_0$  增大, $K$  值减小, $t_{1/2}$  增大,说明冬绿肥种植与翻压后土壤氮矿化势增高,达到最大矿化量的时间长,能够持续、长久且大量供给氮素。

表 4 土壤氮矿化一级动力学方程的模拟结果

Table 4 The simulation results with one-order dynamic model of soil nitrogen mineralization

处 理	$N_0 / (\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	$K / \text{周}$	$t_{1/2} / \text{周}$	$F$ 值	模型显著水平
CK	165.69±1.65 <sup>d</sup>	0.068	6.47±0.12 <sup>d</sup>	452.07	1E-07
OV	230.89±2.95 <sup>ab</sup>	0.057	9.63±0.05 <sup>b</sup>	1 116.49	1E-07
VR	235.19±2.12 <sup>ab</sup>	0.053	6.76±0.24 <sup>d</sup>	734.39	1E-07
RG	211.64±1.24 <sup>b</sup>	0.057	11.20±0.18 <sup>a</sup>	1 694.17	1E-07
VR+OV	245.90±3.85 <sup>a</sup>	0.053	9.13±0.28 <sup>b</sup>	1 353.86	1E-07
VR+SC	192.40±1.25 <sup>bc</sup>	0.076	7.91±0.30 <sup>c</sup>	507.90	1E-07
SC	189.15±1.96 <sup>c</sup>	0.071	7.93±0.40 <sup>c</sup>	609.31	1E-07

### 2.4 冬绿肥处理土壤有机氮组分矿化量差异

我们对培养后的土壤有机氮组分进行测定,用培养前与培养后土壤各有机氮组分之差代表各组分的矿化量(表 5),OV,VR,RG,VR+OV 处理酸解总氮总量及各组分氮矿化量高于冬闲对照,差异显著。VR+SC 处理酸解总氮及氨基酸氮、氨基糖态氮、酰胺态氮均显著高于冬闲;SC 处理酸解总氮显著高

于冬闲,其余组分矿化量与冬闲处理无显著性差异。各处理酸解总氮中矿化量最大的是氨基酸态氮,与培养前相比平均下降 17.83 mg/kg,酰胺态氮、氨基糖态氮和水解未知态氮平均分别下降 11.51,6.99,9.71 mg/kg;二月兰、毛叶苕子和黑麦草处理土壤非酸解总氮比培养前未降低,反而有所增加,这是因为土壤有机氮矿化主要来自酸解态氮,非酸解氮由于成



分复杂,难以矿化,不改变土壤环境条件,难以转化为土壤有效态氮,酸解氮中,氨基酸态氮最易矿化分解,

其次是氨基糖态氮,再次是酰胺态氮,未知态氮较难矿化分解。

表 5 好气培养 24 周后土壤中有机氮素各组分矿化量  
Table 5 The change's amount of N forms after 24weeks mineralization

处 理	酸解总 N	氨基酸 N	氨基糖态 N	酰胺态 N	未知态 N	非酸态 N
CK	43.59±1.04 <sup>d</sup>	10.76±0.05 <sup>e</sup>	3.85±0.05 <sup>d</sup>	6.38±0.05 <sup>d</sup>	5.99±0.23 <sup>d</sup>	2.77±0.03 <sup>b</sup>
OV	58.55±1.00 <sup>ab</sup>	20.85±0.24 <sup>b</sup>	8.74±0.04 <sup>ab</sup>	14.09±0.12 <sup>b</sup>	11.63±0.04 <sup>b</sup>	-6.04±0.24 <sup>cd</sup>
VR	60.70±2.34 <sup>ab</sup>	22.45±0.12 <sup>b</sup>	9.32±0.01 <sup>a</sup>	15.78±0.24 <sup>b</sup>	14.42±0.25 <sup>ab</sup>	-7.64±0.21 <sup>d</sup>
RG	53.27±1.00 <sup>b</sup>	16.82±1.02 <sup>c</sup>	7.80±0.00 <sup>b</sup>	9.16±0.01 <sup>c</sup>	7.96±0.34 <sup>c</sup>	-3.78±0.05 <sup>cd</sup>
VR+OV	64.13±3.14 <sup>a</sup>	29.24±0.25 <sup>a</sup>	9.95±0.24 <sup>a</sup>	20.38±0.05 <sup>a</sup>	15.36±0.25 <sup>a</sup>	11.38±0.01 <sup>a</sup>
VR+SC	48.25±0.85 <sup>c</sup>	13.23±0.37 <sup>d</sup>	5.32±0.31 <sup>c</sup>	8.13±0.12 <sup>c</sup>	6.47±0.11 <sup>cd</sup>	3.21±0.05 <sup>b</sup>
SC	47.00±0.11 <sup>c</sup>	11.47±0.71 <sup>de</sup>	3.94±0.02 <sup>cd</sup>	6.64±0.05 <sup>d</sup>	6.14±0.24 <sup>cd</sup>	2.91±0.03 <sup>b</sup>

### 3 讨论

#### 3.1 不同绿肥种植和翻压对土壤中有机氮组分的影响

本试验条件下,经过 8 a 的冬绿肥种植与翻压利用,土壤有机氮及其各组分含量有了明显改变。冬绿肥作物种植过程中通过根系吸收土壤中残留的无机氮素,转换成有机氮素贮存在植物体内,即便翻压后还有部分未分解矿化的有机物质存留在土壤中,成为有机氮素来源,特别是豆科绿肥作物本身能够固定空气中氮素转换成植株生长需要氮素<sup>[21]</sup>;绿肥作物均具有大量根系,生长期间吸收深层土壤中氮素<sup>[22]</sup>,在冬绿肥翻压时这些氮素就随着植株体被转移到土壤表层。因此,冬绿肥处理土壤有机氮及酸解态有机氮组分含量比冬闲处理明显增加,豆科绿肥作物毛叶苕子及其混播处理尤为显著。

同土壤非酸解有机氮组分相比,酸解态有机氮及其组分在土壤全氮比例较高,是土壤可矿化态氮的主要贡献者。肥料的施用以及秸秆还田显著提高土壤酸解态有机氮和氨基酸态氮<sup>[23]</sup>。因此这部分有机氮组分的数量和组成紧密关系着投入土壤中的物料性质、转化、分解、再合成等循环过程,是土壤有机氮库的源和库,可以指征外界环境因素或耕作措施变化对土壤有机氮素的影响<sup>[24]</sup>。在本研究中,各处理土壤酸解态有机氮矿化占较大比例,说明酸解态有机氮对于土壤氮素累积和转化贡献更大,尤其是氨基酸态氮。说明酸解态有机氮能够较好地衡量绿肥栽培措施对土壤质量的影响。

#### 3.2 不同绿肥种植和翻压对土壤中不同有机氮矿化的影响

土壤氮的矿化对作物供氮起着非常重要的作用<sup>[25]</sup>。绿肥还田土壤后,通过改变土壤的温湿度、水

分等环境因素,从而对微生物活性产生影响,同时绿肥还田后可能引起土壤氮素的激发效应,发生氮的矿化或固持现象<sup>[26]</sup>。在本研究中,绿肥翻压有利于土壤的矿化。这可能是因为绿肥的添加满足了微生物对氮素的大量需求<sup>[27]</sup>,进而促进了土壤的矿化作用,也可能是因为绿肥释放了大量无机氮所致<sup>[28]</sup>。

符合土壤氮素矿化动力学方程规律条件下将土壤氮素矿化势、矿化速率和半衰期同时考虑才能指征土壤供氮能力<sup>[29]</sup>。本研究结果表明,与冬闲对照相比,冬绿肥处理土壤的供氮能力显著提高。冬绿肥处理中,毛叶苕子、二月兰、黑麦草、毛叶苕子二月兰混播处理供氮容量( $N_0$ )更大,供氮时间更长( $t_{1/2}$ ),可在下茬作物玉米的生长发育过程中长期不断地补充氮素,土壤供氮能力提高,更有利于下一季作物的生长,但也更容易产生在作物生长需要氮素与微生物繁殖生长竞争氮素<sup>[30]</sup>,而黑麦、毛叶苕子黑麦混播处理  $N_0$  值相对较小,  $K$  值相对较大,  $t_{1/2}$  相对较小,表现为供氮量相对较小,短时间大量供应,供氮周期相对短暂,后茬作物生长后期有可能出现氮素缺乏<sup>[31]</sup>。因此建议在该类绿肥翻压后注意补充氮肥。

### 4 结论

与冬闲对照相比,冬绿肥种植与翻压能够增加土壤有机氮、酸解态有机氮及其组分含量,非酸解态有机氮含量有所降低;冬绿肥处理土壤矿化势增大,矿化速率减小,半衰期增大,说明冬绿肥种植与翻压后土壤氮矿化潜力高,达到最大矿化量的时间长,能够持续、长久且大量供给氮素的能力;在冬绿肥处理中,二月兰毛叶苕子混播、毛叶苕子、二月兰和黑麦草处理土壤供氮能力优于黑麦毛叶苕子混播和黑麦处理。为提高土壤肥力,提高华北地区冬闲耕地的利用效率,建议加大力度推广种植冬绿肥。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 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.
- [2] 赵秋,高贤彪,宁晓光,等.华北地区几种冬闲覆盖作物碳氮蓄积及其对土壤理化性质的影响[J].生态环境学报,2011,20(4):750-753.
- [3] 周国朋,谢志坚,曹卫东,等.稻草高茬一紫云英联合还田改善土壤肥力提高作物产量[J].农业工程学报,2017,33(23):157-163.
- [4] 白金顺,曹卫东,樊媛媛,等.苏南稻田 4 种冬绿肥养分特性及对翻压前土壤无机氮的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(2):413-419.
- [5] 刘蕊,常单娜,高嵩涓,等.西北小麦与豆科绿肥间作体系箭筈豌豆和毛叶苕子生物固氮效率及氮素转移特性[J].植物营养与肥料学报,2020,26(12):2184-2194.
- [6] 庄恒扬,曹卫星,任正龙,等.土壤有机氮矿化与有机物氮素释放的动态模拟[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2002,23(2):63-66.
- [7] Schneider M K, Lüscher A, Richter M, et al. Ten years of free-air CO<sub>2</sub> enrichment altered the mobilization of N from soil in *Lolium perenne* L. swards [J]. Global Change Biology, 2004,10(8):1377-1388.
- [8] 杨璐,曹卫东,白金顺,等.种植翻压二月兰配施化肥对春玉米养分吸收利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(4):799-807.
- [9] 伍玉鹏,邓婵娟,姜炎彬,等.长期施肥对水稻土有机氮组分及氮素矿化特性的影响[J].农业环境科学学报,2015,34(10):1958-1964.
- [10] 谢驾阳,王朝辉,李生秀,等.地表覆盖对西北旱地土壤有机氮累积及矿化的影响[J].中国农业科学,2010,43(3):507-513.
- [11] 林栋,张德罡.草地轮作年限和季节对土壤不同组分有机氮含量的影响[J].草原与草坪,2020,40(3):23-29.
- [12] 刘昕萌,陈庚,王志国,等.不同氮肥基追比对玉米氮素吸收利用、土壤氮素供应及产量的影响[J].华北农学报,2020,35(5):124-131.
- [13] 梁琴,周泽弘,马雪清,等.绿肥翻压与氮肥减施对水稻产量、品质及土壤肥力的影响[J].中国农业科技导报,2021,23(10):124-130.
- [14] 李萌,王昌全,李冰,等.猪粪替代氮肥对稻麦轮作条件下土壤有机氮组分的影响[J].土壤,2016,48(3):449-454.
- [15] 武星魁,施卫明,徐永辉,等.长期不同化肥氮用量对设施菜地土壤氮素矿化和硝化作用的影响.土壤,2021,53(6):1160-1166.
- [16] Stanford G, Smith S J. Nitrogen mineralization potentials of soils [J]. Soil Science Society of America Journal, 1972,36(3):np.
- [17] 巨晓棠,边秀举,刘学军,等.旱地土壤氮素矿化参数与氮素形态的关系[J].植物营养与肥料学报,2000,6(3):251-259.
- [18] 何羽,孙林江.HJ 535-2009《水质氨氮的测定纳氏试剂分光光度法》不确定度评定[J].轻工科技,2013,29(2):107-108.
- [19] 王曼,李冬,梁瑜海,等.紫外分光光度法测定水中硝酸盐氮的试验研究[J].环境科学与技术,2011,34(S<sub>1</sub>):231-234.
- [20] 李强,王晋,庄舜尧.我国南方不同地带性水稻土有机氮组分变化[J].土壤,2015,47(5):940-946.
- [21] Malhi S S, Wang Z H, Schnitzer M, et al. Nitrogen fertilization effects on quality of organic matter in a grassland soil [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2005,73(2):191-199.
- [22] 姬景红,张玉龙,张玉玲,等.灌溉方法对保护地土壤有机氮矿化特性的影响[J].土壤学报,2009,46(5):869-877.
- [23] 李菊梅,李生秀.可矿化氮与各有机氮组分的关系[J].植物营养与肥料学报,2003,9(2):158-164.
- [24] 姜慧敏,李树山,张建峰,等.外源化肥氮素在土壤有机氮库中的转化及关系[J].植物营养与肥料学报,2014,20(6):1421-1430.
- [25] 徐法伟,姜春霞,陈家宙.稻草覆盖措施对红壤氮素矿化的影响[J].华中农业大学学报,2011,30(6):717-721.
- [26] 郎漫,李平,王丹丹,等.有机物料对黑土氮素转化的影响[J].土壤通报,2015,46(6):1347-1351.
- [27] 王晓维,徐健程,龙昌智,等.施氮量和土壤含水量对黑麦草还田红壤氮素矿化的影响[J].植物营养与肥料学报,2018,24(2):365-374.
- [28] 刘阳,刁向银,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.
- [29] Wang Changhui, Wan Shiqiang, Xing Xuerong, et al. Temperature and soil moisture interactively affected soil net N mineralization in temperate grassland in Northern China [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2006,38(5):1101-1110.
- [30] Rustad L, Campbell J, Marion G, et al. A meta-analysis of the response of soil respiration, net nitrogen mineralization, and aboveground plant growth to experimental ecosystem warming [J]. Oecologia, 2001, 126(4):543-562.
- [31] 吴汉卿,张玉龙,张玉玲,等.土壤有机氮组分研究进展[J].土壤通报,2018,49(5):1240-1246.