

# 二月兰不同翻压量对土壤肥力的影响

刘 佳<sup>1</sup>, 张 杰<sup>2</sup>, 徐昌旭<sup>1</sup>, 白金顺<sup>3</sup>, 曹卫东<sup>3,4</sup>

(1. 江西省农业科学院土壤肥料与资源环境研究所, 农业部长江中下游作物生理生态与耕作重点实验室, 国家红壤改良工程技术研究中心, 江西 南昌 330200; 2. 中国农业科学院研究生院, 北京 100081; 3. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 农业部植物营养与肥料重点实验室, 北京 100081; 4. 青海大学, 青海农林科学院, 青海 西宁 810016)

**摘 要:** 通过室内土壤培养试验, 研究了绿肥二月兰 (*Orychophragmus violaceus*) 不同翻压量对土壤肥力的影响。结果表明, 翻压二月兰可有效降低石灰性土壤 pH 值, 45 000 kg·hm<sup>-2</sup> (处理 I) 和 90 000 kg·hm<sup>-2</sup> (处理 II) 翻压量的土壤 pH 值在培养结束时 (120 d) 分别比对照降低了 0.24 和 0.41 个单位; 翻压二月兰可显著提高土壤全氮、速效磷和速效钾含量, 培养结束时处理 I、II 的土壤全氮、速效磷和速效钾含量分别比对照增加了 0.06 g·kg<sup>-1</sup>、2.00 mg·kg<sup>-1</sup>、26.28 mg·kg<sup>-1</sup> 和 0.09 g·kg<sup>-1</sup>、3.32 mg·kg<sup>-1</sup>、63.00 mg·kg<sup>-1</sup>; 土壤有效氮含量在翻压 15 天时达到峰值, 此时处理 I、II 的有效氮含量分别比对照增加了 12.95 mg·kg<sup>-1</sup> 和 21.70 mg·kg<sup>-1</sup>, 但培养 60 天后各处理有效氮含量相近; 翻压二月兰可在培养前期 (22 d) 较大幅度提高土壤有机碳含量, 但 22 天后处理间差异缩小, 培养结束时处理 I、II 的有机碳含量分别比对照增加了 -0.06 g·kg<sup>-1</sup> 和 0.33 g·kg<sup>-1</sup>; 翻压二月兰可降低土壤碳氮比, 培养结束时处理 I、II 的碳氮比分别比对照下降了 2.02 和 1.51 个单位, 降幅分别达到 20.82% 和 15.58%。

**关键词:** 绿肥; 二月兰; 翻压量; 土壤肥力

中图分类号: S553; S158.3 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2014)01-0123-05

## Effects of different application rates of *Orychophragmus violaceus* on soil fertility

LIU Jia<sup>1</sup>, ZHANG Jie<sup>2</sup>, XU Chang-xu<sup>1</sup>, BAI Jin-shun<sup>3</sup>, CAO Wei-dong<sup>3,4</sup>

(1. Soil and Fertilizer & Resources and Environment Institute, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences; Ministry of Agriculture Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System for the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River; National Engineering & Technology Research Center for Red Soil Improvement, Nanchang, Jiangxi 330200, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 3. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Science; Key Laboratory of Plant Nutrition and Fertilizer, Beijing 100081, China; 4. Qinghai University, Qinghai Academy of Agricultural and Forestry, Xining, Qinghai 810016, China)

**Abstract:** A laboratory incubation experiment was carried out to study the effects of different application rates of *Orychophragmus violaceus* on soil fertility. The results showed that the soil pH was reduced by application *Orychophragmus violaceus*. Compared to control soil, at the end of the incubation the soil pH of 45 000 kg·hm<sup>-2</sup> (T I) and 90 000 kg·hm<sup>-2</sup> (T II) application amounts was reduced by 0.24 and 0.41, respectively. The contents of soil total N, available P and available K increased 0.06 g·kg<sup>-1</sup>, 2.00 mg·kg<sup>-1</sup>, 26.28 mg·kg<sup>-1</sup> for T I, and 0.09 g·kg<sup>-1</sup>, 3.32 mg·kg<sup>-1</sup>, 63.00 mg·kg<sup>-1</sup> for T II. At 15 d after incubation, the soil available N contents of T I and T II reached the maximum, being 51.45 mg·kg<sup>-1</sup> and 60.20 mg·kg<sup>-1</sup> respectively. However, no significant effect was detected among the treatments after 60 d. Soil organic carbon content increased in the first 22 d, and after that no significant differences existed among treatments. Compared to the control soil, at the end of the incubation, soil organic carbon contents of T I and T II increased by -0.06 g·kg<sup>-1</sup> and 0.33 g·kg<sup>-1</sup>, while the soil C/N ratio decreased by 2.02 and 1.51 respectively.

**Keywords:** green manure; *orychophragmus violaceus*; application amount; soil fertility

收稿日期: 2013-04-16

基金项目: 公益性行业 (农业) 科研专项经费 (200803029, 201103005); 作物种质资源保护项目 (NB2012-2130135-34); 江西省农业科学院创新基金 (青年基金) 项目 (2012CQN002)

作者简介: 刘 佳 (1984—), 男, 安徽六安人, 硕士, 助理研究员, 主要从事绿肥利用及土壤环境研究。E-mail: liujia422@126.com。

通信作者: 曹卫东 (1968—), 男, 博士, 研究员, 主要从事绿肥作物及清洁农业生产研究。E-mail: wdcao@caas.ac.cn。

近年来华北地区冬小麦种植面积大幅萎缩,传统的冬小麦夏玉米两熟制向一季春玉米制演变的趋势明显,导致华北地区出现了大面积的冬季休闲地。据调查,仅京津两地及相邻的保定、张家口、承德、廊坊四市,冬闲土地的面积就已达到近 200 万  $\text{hm}^2$ ,冬闲时间长达半年以上。如此大面积和长时间的休闲,一方面造成了光、热、水、土等自然资源的浪费,另一方面由于长时间缺少地面覆盖,加之北方地区冬春季大风天气较多,也给当地的生态环境造成了恶劣影响。二月兰 (*Orychophragmus violaceus*) 又名诸葛菜,为十字花科诸葛菜属越年生草本植物,是一种集油料、菜用、保健、饲用和观赏为一身的优良植物<sup>[1-2]</sup>,具有较强的抗寒耐旱能力。已有研究表明,二月兰在华北地区可安全越冬,返青后快速生长并迅速覆盖地面,在次年 4 月达到盛花期,此时二月兰鲜嫩多汁,产量、养分含量和累积量均较高,可翻压用作绿肥<sup>[3-4]</sup>。将二月兰用作绿肥作物种植,既能覆盖冬季裸露土地,起到防风固沙、美化环境的作用,又能在下茬作物种植前翻压,使其腐解释放养分供主作物生长利用。前人大量研究表明:绿肥翻压

可提高土壤的有机质含量和速效养分,是培肥土壤的重要措施,也是解决我国农业生产对化肥依赖度大的有效途径<sup>[5]</sup>。但以往研究的绿肥品种主要为紫云英<sup>[6]</sup>、箭舌豌豆<sup>[7]</sup>、毛叶苕子<sup>[8]</sup>和黑麦草<sup>[9]</sup>等传统绿肥作物,且多是在翻压量相同的前提下比较不同种类绿肥对土壤肥力的影响<sup>[10]</sup>,涉及到绿肥翻压量的研究较少。将二月兰用作一种新型绿肥,明确其翻压量对土壤养分含量的动态影响对于建立二月兰利用技术规范和指导作物科学施肥具有重要意义。因此本文以二月兰不同翻压量为试验因素,研究其翻压后土壤 pH 值、有机碳、氮、磷、钾含量的动态变化,为二月兰的科学合理利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

试验于 2009 年 4 月 25 日至 2009 年 8 月 23 日在室内进行。供试土壤为砂质潮土,取自中国农业科学院廊坊万庄试验基地,土壤采集后摊平风干,过 2 mm 筛去杂、混匀后备用。土壤的基本理化性质见表 1。

表 1 供试土壤基本理化性质

Table 1 Basic physicochemical properties of soil

pH	有机质 Organic matter /( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	全氮 Total nitrogen /( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	碱解氮 Available N /( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	速效磷 Available P /( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	速效钾 Available K /( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	阳离子交换量 Cation exchange capacity /( $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ )
8.19	3.88	0.30	23.6	2.4	62.8	10.6

供试二月兰为盛花期时取的地上部植株鲜样,其养分含量(占干基)为:碳  $381.7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、氮  $39.2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、磷  $4.3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、钾  $28.4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,鲜草的含水量 86.06%。

### 1.2 试验设计

试验设 3 个处理:(1) CK;(2)  $45\ 000 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  的翻压量(I);(3)  $90\ 000 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  的翻压量(II)。将二月兰剪成长 2~3 cm 的小段,CK 处理不翻压二月兰,处理 I、II 分别将 5 g 和 10 g(按耕层土壤重量为  $2.25 \times 10^6 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  换算而来)二月兰与 250 g 风干过筛的供试土壤混匀装于 500 ml 烧杯中,然后加去离子水调节土壤含水量为田间持水量的 70%,放入 25℃ 的恒温培养箱中培养,每隔 1 d 采用质量差值法校准并调节土壤含水量。每个处理一次性设置重复 36 个。

分别在培养后的 2、5、8、15、22、30、60、90 d 和 120 d(共 9 次)进行破坏性取样,每处理每次随机取样 4 个。土样风干后过筛并挑出植株残体,测定土壤的 pH 值、全氮、有效氮、速效磷、速效钾和有机碳含量。

### 1.3 测定方法

土壤 pH 值按水土比为 2.5:1 测定;全氮用半微量凯氏定氮法测定;有效氮用碱解扩散法测定;速效磷用  $0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  的碳酸氢钠浸提,钼锑抗比色法测定;速效钾用  $1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  醋酸铵浸提,火焰光度计测定;有机碳用重铬酸钾容量法测定<sup>[11]</sup>。

### 1.4 数据处理

试验数据用 Excel 2003、Spss 16.0 等软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同翻压量对土壤 pH 值的影响

图 1 是二月兰不同翻压量对土壤 pH 值的动态影响。可以看出,对照处理的土壤 pH 值在整个培养过程中变化幅度较小,最大差值仅 0.14 个单位;而处理 I、II 的土壤 pH 值则在培养初期有明显下降趋势,下降时间分别集中在培养后的 8 天和 15 天,此后变化比较平缓,后期略有上升。整个培养过程中,土壤 pH 值始终是  $\text{CK} > \text{I} > \text{II}$ ,即随着二月兰翻压量的加大,土壤 pH 值的下降幅度也变大。

翻压 120 d 后,处理 I、II 的土壤 pH 值分别比对照降低了 0.24 和 0.41 个单位。而且,这种对土壤 pH 值的影响作用在整个培养过程中一直存在,并没有因时间的延长而出现明显减弱的趋势。

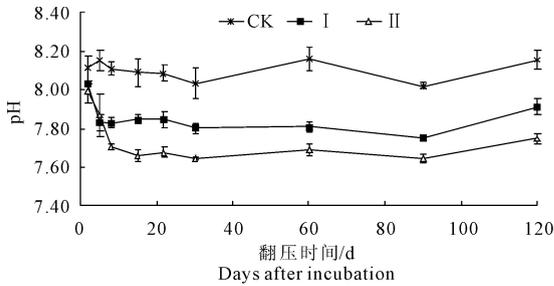


图 1 二月兰不同翻压量对土壤 pH 值的影响

Fig. 1 Effects of different application rates of *O. violaceus* on soil pH

## 2.2 不同翻压量对土壤氮含量的影响

土壤全氮含量是用来衡量土壤氮素供应状况的基础指标。从图 2 可以看出,各处理的土壤全氮含量变化趋势大致相同,均为“下降—上升—下降—平缓”的过程,变化幅度均不大。整个培养过程中,土壤全氮含量始终是处理 II > I > CK,可见翻压二月兰可以增加土壤全氮的含量,其增加幅度与二月兰的翻压量成正比,并且翻压二月兰处理的土壤全氮含量与对照相比始终显著增加 ( $P < 0.05$ , 下同)。翻压 120 d 后,处理 I、II 的土壤全氮含量与对照相比分别增加了  $0.06 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $0.09 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,增幅分别达到 23.37% 和 34.54%。

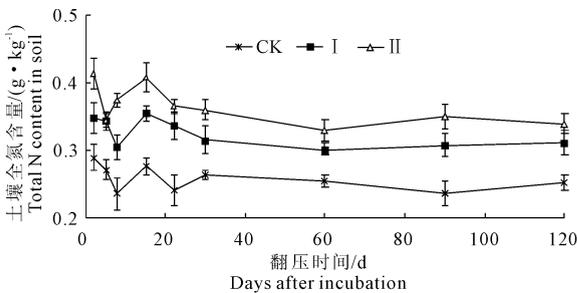


图 2 二月兰不同翻压量对土壤全氮含量的影响

Fig. 2 Effects of different application rates of *O. violaceus* on soil total N content

土壤有效氮含量与作物生长密切相关,直接反映土壤的供氮特征,对实际生产中的推荐施肥和作物利用更具指导意义。从图 3 可以看出,在培养前期,翻压二月兰能显著提高土壤有效氮含量,并且提高幅度与二月兰的翻压量成正比。培养前 30 d,CK、处理 I、II 的有效氮含量变化趋势基本一致,均呈“短暂下降—迅速上升—迅速下降—趋于平缓”的过程,在培养 15 d 时各处理均达到峰值,此时处理

I、II 的有效氮含量分别为  $51.45 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $60.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,与对照相比分别增加了  $12.95 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $21.70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,增幅分别达到 33.64% 和 56.36%。不同的是,30 d 后对照处理的有效氮含量基本稳定,而处理 I、II 则持续下降,至培养 60 d 时,处理 I、II 的土壤有效氮含量只略高于对照,此后三者有效氮含量几乎相同。

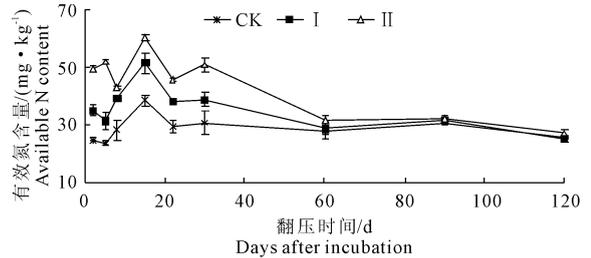


图 3 二月兰不同翻压量对土壤有效氮含量的影响

Fig. 3 Effects of different application rates of *O. violaceus* on soil available N content

## 2.3 不同翻压量对土壤速效磷含量的影响

土壤速效磷含量能直接反映土壤的供磷状况。图 4 是二月兰不同翻压量对土壤速效磷含量的动态影响。可以看出,整个培养过程中,对照的速效磷含量变化比较平缓,波动较小;翻压二月兰能提高土壤速效磷含量,翻压处理的变化趋势大体相同,均在翻压前期快速上升,而后趋于平缓。整个培养过程中,各处理的土壤速效磷含量始终是处理 II > I > CK,提高二月兰翻压量能有效提高土壤速效磷含量。翻压 120 d 后,处理 I、II 的土壤速效磷含量分别比对照增加了  $2.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $3.32 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,增幅分别达到 99.85% 和 165.31%。

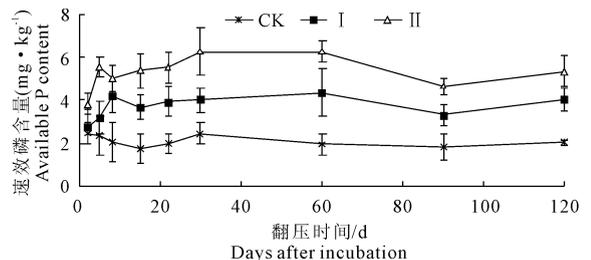


图 4 二月兰不同翻压量对土壤速效磷含量的影响

Fig. 4 Effects of different application rates of *O. violaceus* on soil available P content

## 2.4 不同翻压量对土壤速效钾含量的影响

速效钾是土壤中能很快被作物吸收利用的钾素形态,其含量对作物生长有着重要影响。从图 5 可以看出,翻压二月兰可显著提高土壤速效钾含量,与对照相比,处理 I 速效钾提高幅度在 35.71% ~

49.09%之间,处理Ⅱ速效钾提高的幅度在 70.87%~121.91%之间。整个培养过程中,各处理土壤速效钾含量始终是处理Ⅱ>Ⅰ>CK,并且三者之间始终差异显著。对照处理的速效钾含量较为稳定,而翻压处理则在培养后的 2~15 d 有较为明显的下降趋势,这可能是由于二月兰快速释放出来的钾有一个被土壤固定的过程。翻压 120 d 后,处理Ⅰ、Ⅱ的土壤速效钾含量分别比对照增加了 26.28  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  和 63.00  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,增幅分别达到 47.11% 和 112.94%。

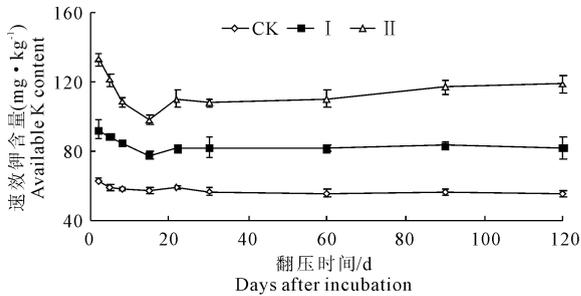


图 5 二月兰不同翻压量对土壤速效钾含量的影响

Fig.5 Effects of different application rates of *O. violaceus* on soil available K content

## 2.5 不同翻压量对土壤有机碳含量的影响

土壤有机碳作为土壤有机质的重要组成,是土壤养分循环转化的核心,直接反映土壤肥力的高低。不同处理土壤有机碳含量的变化趋势基本一致(图 6),均为先升后降。不同的是,翻压二月兰处理的土壤有机碳在培养 15 d 时达到峰值,而对照处理的峰值则延迟至 30 d 时出现。除个别时间点之外,整个培养过程中,土壤有机碳含量大体为处理Ⅱ>Ⅰ>CK。与对照相比,翻压处理的土壤有机碳含量可大致分为三个变化阶段,培养 2~8 d 为大幅增加阶段,处理Ⅰ、Ⅱ的有机碳含量分别比对照增加了 30.52% 和 48.85% (阶段内平均值);培养 8~22 d 增幅较小,处理Ⅰ、Ⅱ分别比对照增加了 14.01% 和 21.37% (阶段内平均值);而培养 22 d 之后,则为差异缩小阶段,处理Ⅰ、Ⅱ分别比对照增加了 2.05% 和 10.99% (阶段内平均值)。培养结束时,处理Ⅰ、Ⅱ的土壤有机碳含量分别比对照增加了  $-0.06 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  和  $0.33 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,增幅分别达到  $-2.57%$  和 13.42%。

## 2.6 不同翻压量对土壤碳氮比的影响

土壤碳氮比既是反映土壤微生物群落结构的重要指标,也在一定程度上指示外源碳氮对土壤碳氮积累的贡献状况<sup>[12-13]</sup>。从图 7 可以看出,除第 2 天时处理Ⅰ(8.68)、Ⅱ(9.00)的碳氮比高于对照(7.90)外,整个培养阶段,都是对照的碳氮比较高。

培养 2~22 d,对照碳氮比迅速上升,然后保持短时间的平稳后开始下降;处理Ⅰ、Ⅱ的碳氮比在培养初期小幅上升,随后进入平缓期,60 d 后开始下降。整个培养过程中,大部分时间都是处理Ⅱ碳氮比小于处理Ⅰ。培养结束时,处理Ⅰ、Ⅱ的碳氮比分别比对照下降了 2.02 和 1.51 个单位,降幅分别达到 20.82% 和 15.58%。

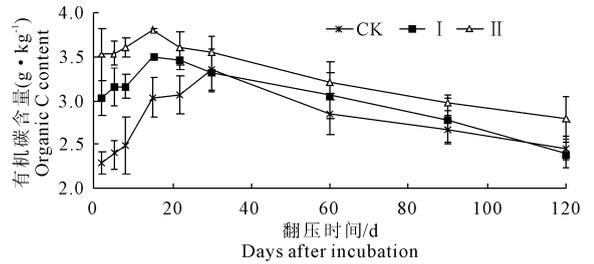


图 6 二月兰不同翻压量对土壤有机碳含量的影响

Fig.6 Effects of different application rates of *O. violaceus* on soil organic C content

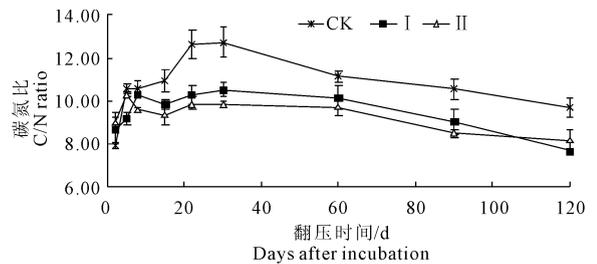


图 7 二月兰不同翻压量对土壤碳氮比的影响

Fig.7 Effects of different application rates of *O. violaceus* on soil C/N ratio

## 3 讨论与结论

pH 值对土壤中各种元素的存在形态及有效性有着重要影响,合理调节土壤 pH 值,有利于土壤肥力的提高<sup>[14-15]</sup>。通常来说,石灰性土壤的高 pH 值在许多养分的限制因素,降低石灰性土壤的 pH 值,可提高磷、铁等多种元素的有效性。本研究表明,翻压二月兰能有效降低石灰性土壤 pH 值,这主要是由于绿肥翻压后,在土壤中分解释放出许多小分子有机酸<sup>[16]</sup>,同时也为土壤微生物提供了大量新鲜碳源,使微生物大量繁殖,呼吸释放出的  $\text{CO}_2$  激增<sup>[17-18]</sup>;而且,土壤 pH 值的降低幅度与二月兰的翻压量成正比,这与刘国顺<sup>[16]</sup>、胡宏祥<sup>[19]</sup>等的研究结果一致。因此合理控制二月兰的翻压量可作为调节石灰性土壤 pH 值的有效措施。

研究表明,绿肥或作物秸秆翻压后,会逐渐腐解,将自身养分释放出来,为土壤提供大量速效养分,并在一定程度上提高土壤的全量养分<sup>[10,20]</sup>。本

研究以砂质石灰性潮土为例,明确了绿肥二月兰 2 种不同翻压量对土壤养分的动态影响,结果表明翻压二月兰可有效提高土壤全氮、速效磷和速效钾的含量,其提高幅度与二月兰的翻压量成正比,并且这种影响趋势一直持续到培养结束。但土壤有效氮含量的变化趋势则明显不同,翻压处理土壤有效氮含量的提高主要集中在培养前 30 d,30 d 以后对照处理的土壤有效氮含量保持稳定,而翻压处理持续下降,至 60 d 时各处理的有效氮含量相近。这可能是由于绿肥翻压造成土壤微生物大量繁殖,在厌气条件下发生生物脱氮作用,石生伟等<sup>[21]</sup>研究发现,与对照相比新鲜稻草还田后会使土壤  $N_2O$  的排放量增加 167.95%。也可能是由于土壤中的粘粒矿物对铵的固定作用。通常来说,北方土壤中能固定铵的粘粒矿物较多,而土壤中的铵较少,其固定作用较小,但绿肥翻压后,会造成土壤铵态氮含量显著提高,尤其是在翻压前期,潘福霞等<sup>[10]</sup>研究发现,绿肥翻压后在培养前期土壤铵态氮的增加幅度高达 8.8~15.9 倍,因此土壤对铵的固定作用不可忽略。氮素在土壤中的转化受土壤性质、环境条件和微生物等影响较大,也与绿肥自身特性相关,绿肥翻压后土壤氮素的转化途径及影响因素还有待进一步深入研究。

土壤有机碳作为土壤养分循环转化的核心,对土壤结构的形成及稳定性具有重要影响。土壤有机碳含有植物生长所必需的各种营养元素,具有改善土壤物理化学性状、增强土壤供水保水能力、提高土壤生物活性、促进营养元素转化、减少作物病害等作用,进而决定作物产量。二月兰翻压后,会给土壤带来大量新鲜碳源,导致土壤有机碳含量在前期有所上升,但随着微生物的大量繁殖,也会由于激发效应<sup>[22]</sup>而使其分解释放碳的含量升高,因此培养 15 d 后土壤有机碳含量持续下降,翻压量较小的处理 I 在培养结束时有机碳含量甚至低于对照。土壤有机碳的累积和释放是一个动态平衡过程,当有机碳形成量大于矿化量时,土壤作为碳汇起固碳作用,反之土壤作为碳源向环境释放碳(主要以  $CO_2$  形式)<sup>[23]</sup>。同时,本研究还发现二月兰翻压后,土壤的碳氮比下降,这说明翻压二月兰土壤的有机碳积累速率慢于氮素积累速率,土壤有机碳的积累与释放共存,因此土壤培肥是一个长期的过程。

二月兰具备一般绿肥作物所应具有的共同特征:生物量大、养分含量高、养分累积量大。同时,在华北地区当前的气候条件、种植制度下,二月兰用作绿肥作物能较好地与主作物生育期合理衔接,因此具有广泛的应用前景。但是本研究是在室内模拟条件下进行的,与田间情况存在一定差异,还需在农业

生产中进行验证,并且实际应用中,也应综合考虑绿肥翻压后可能造成的影响种子发芽与出苗、增加温室气体排放等各种新的问题。

#### 参考文献:

- [1] 周太炎,关克俭,郭荣麟.中国植物志[M].北京:科学出版社,1987:40-43.
- [2] 肖 龙,罗 鹏.诸葛菜的研究现状与开发前景[J].西北植物学报,1994,14(3):237-241.
- [3] 刘 佳,曹卫东,荣向农,等.华北越冬绿肥作物二月兰生长特征的研究[J].中国土壤与肥料,2010,(5):77-81.
- [4] 刘 佳,曹卫东,荣向农,等.华北冬绿肥作物二月兰的营养特征研究[J].中国土壤与肥料,2012,(1):78-82.
- [5] 焦 斌.中国绿肥[M].北京:农业出版社,1986:67-97.
- [6] 潘福霞,李小坤,鲁剑巍,等.不同播期对紫云英生长及物质养分积累的影响[J].土壤,2012,44(1):67-72.
- [7] 时永杰,杜天庆.黄土高原半干旱山区箭舌豌豆品种比较研究[J].干旱地区农业研究,2001,19(1):93-96.
- [8] 张久东,包兴国,胡志桥,等.绿肥与化肥配施对小麦产量和土壤肥力的影响[J].干旱地区农业研究,2011,29(6):125-129.
- [9] 张伟梅,吕周林,姚 宏,等.浙西南山区旱地多熟间套作不同培肥方法的效果研究[J].干旱地区农业研究,2006,24(4):5-10.
- [10] 潘福霞,鲁剑巍,刘 威,等.不同种类绿肥翻压对土壤肥力的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(6):1359-1364.
- [11] 鲍士旦.土壤农化分析[M].第三版.北京:中国农业出版社,2005:25-108.
- [12] Hogberg MN, Hogberg P, Myrold DD. Is microbial community composition in boreal forest soils determined by pH, C-to-N ratio, the trees, or all three? [J]. Oecologia, 2007,150(4):590-601.
- [13] 张 普,刘卫国.黄土高原中部黄土沉积有机质记录特征及 C/N 指示意义[J].海洋地质与第四纪地质,2008,28(6):120-124.
- [14] 李 艳,刘国道,张如莲,等.施用热带豆科绿肥对砖红壤 pH 值的动态影响及其机制研究[J].土壤,2012,44(1):101-106.
- [15] 杨丽娟,李天来,付时丰,等.长期施肥对菜田土壤微量元素有效性的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,12(4):549-553.
- [16] 刘国顺,罗贞宝,王 岩,等.绿肥翻压对烟田土壤理化性状及土壤微生物量的影响[J].水土保持学报,2006,20(1):95-98.
- [17] 李 正,刘国顺,敬海霞,等.绿肥与化肥配施对植烟土壤微生物量及供氮能力的影响[J].草业学报,2011,20(6):126-134.
- [18] 杨曾平,高菊生,郑圣先,等.长期冬种绿肥对红壤性水稻土微生物特性及酶活性的影响[J].土壤,2011,43(4):576-583.
- [19] 胡宏祥,程 燕,马友华,等.油菜秸秆还田腐解变化特征及其培肥土壤的作用[J].中国生态农业学报,2012,20(3):297-302.
- [20] 赵 娜,赵护兵,鱼昌为,等.旱地豆科绿肥腐解及养分释放动态研究[J].植物营养与肥料学报,2011,17(5):1179-1187.
- [21] 石生伟,李玉娥,李明德,等.不同施肥处理下双季稻田  $CH_4$  和  $N_2O$  排放的全年观测研究[J].大气科学,2011,35(4):707-720.
- [22] Bingeman CW, Vamer JE, Martin WP. The effect of the addition of organic materials on the decomposition of an organic soil[J]. Soil Science Society of America Proceedings, 1953,17:34-38.
- [23] Kirschbaum MUF. The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic C storage[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1995,27(6):753-760.