

# 芸薹属绿肥对烤烟根系及土壤酶活性的影响

刘 领<sup>1</sup>,李继伟<sup>1</sup>,刘 杉<sup>2</sup>,赵世民<sup>2</sup>,李友军<sup>1</sup>

(1.河南科技大学农学院,河南 洛阳 471023;2.洛阳市烟草公司,河南 洛阳 471000)

**摘要:**为了调查芸薹属绿肥在豫西旱区烤烟生产中的效应,采用田间试验,研究了3种芸薹属绿肥翻压对烤烟根系生长及土壤酶活性的影响。研究表明:与对照组相比,田闲期不同芸薹属绿肥翻压,均显著增加了不同生育时期烤烟的根系活力、根长、根体积和根干质量,也显著提高了土壤脲酶、蔗糖酶、蛋白酶和过氧化氢酶活性。就3种芸薹属绿肥的效应而言,油菜作为绿肥翻压更有利于提高烤烟的根系生长和土壤酶活性。建议芸薹属植物油菜可作为豫西烟区烤烟生产田闲期的绿肥资源。

**关键词:**芸薹属植物;绿肥翻压;烤烟;根系生长;土壤酶活性

**中图分类号:**S551;S572

**文献标志码:**A

## 0 引言

随着现代农业(又称石油农业)的不断发展,在烤烟生产过程中,由于长期施用大量化学肥料,导致中国多数烟区土壤微生态环境恶化、土传病害加重、烟叶的产量和品质下降,已经影响了烟区烟叶生产的可持续发展<sup>[1]</sup>。绿肥是中国传统农业的精华,利用烟田在冬季田闲期种植绿肥,翻压后不仅可增加土壤有机质含量,降低土壤容重,而且在绿肥生长过程中,还能通过养分吸收、根系分泌和细胞脱落等方式,起到调节土壤养分平衡、活化和富集土壤养分、增加土壤微生物活性和抑制土传病害等作用<sup>[2-3]</sup>。因此,烟区利用冬季田闲期种植和翻压绿肥,对于提高和恢复土壤肥力,实现烟叶生产的可持续发展具有十分重要的意义。

烟田传统绿肥主要为豆科固氮作物<sup>[4-5]</sup>,如紫云英、野豌豆等。文献[6-7]研究表明:十字花科芸薹属植物体内含有大量硫苷(硫代葡萄糖苷),作为绿肥掩青后,在一定的温湿度条件下,可在其自身含有的黑芥子酶作用下分解为异硫氰酸酯类物质,对作物土传病害具有较强的抑制作用。十字花科芸薹属植物作为绿肥应用在农业生产中,不仅能够改良土壤和提高肥力,还可以增强作物的抗逆性。文献[8]研究表明:与紫云英相比,油菜作为绿肥还田具有营养成分均衡、碳氮比最利于水稻的吸收、干物质积累量大的特点。同时,油菜是芸薹属植物,含有丰富的硫苷,成为稻田的“清洁员”,可为土壤消毒,能有效地杀死有害细菌、虫卵、杂草,有利于克服稻田连作障碍,实现水稻可持续超高产。然而,十字花科芸薹属植物作为绿肥在烤烟生产中的效应尚不清楚。

通常,不同的绿肥品种具有不同的生态适应性,不适宜的绿肥品种往往表现为生长缓慢、生物量小,影响其施用效果<sup>[9]</sup>。因此,根据当地烟区生态气候条件,筛选出适宜的绿肥品种,是合理利用绿肥资源的一项重要措施。烤烟是豫西丘陵旱作区重要的经济作物之一,水资源贫乏、降雨量少、土壤瘠薄、保水保肥性能差是制约豫西烟区烟叶生产的重要因素,而且常年的烟叶生产也造成了烟区土壤结构和土壤微生物生态环境恶化,致使烟叶产量低而不稳<sup>[10]</sup>。烤烟的根系发育状况和土壤酶活性是反映烤烟抗逆性、土壤质量和土壤健康状况的重要指标<sup>[11-12]</sup>。本文依据豫西烟区烤烟生产的现状,研究不同芸薹属绿肥品种对烤烟根系生长及土壤酶活性的影响,筛选出适宜豫西烟区烤烟生产的绿肥品种,也为芸薹属

**基金项目:**国家自然科学基金项目(31200332);河南省烟草公司基金项目(M201307);洛阳市烟草公司基金项目(201407);河南科技大学人才基金项目(09001597)

**作者简介:**刘领(1978-),男,河南项城人,副教授,博士,主要研究方向为烟草栽培生理生态;李友军(1962-),男,通信作者,河南宜阳人,教授,博士,博士生导师,主要研究方向为作物栽培生理。

**收稿日期:**2016-09-28

植物作为绿肥在烤烟生产中的应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地

试验于2014年10月至2015年10月,在河南省洛阳市河南科技大学试验农场(34°61'N,112°42'E)进行。该地区年均气温13.7℃,年均无霜期216d,年降水量600~800mm,土壤类型为褐土。土壤基本理化性质为:pH值7.4,有机质质量分数1.26%,总氮 $1.0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,碱解氮 $58.6\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,速效磷 $8.9\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,速效钾 $118.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

### 1.2 试验材料

试验选用的十字花科芸薹属绿肥材料为:芜菁(菜籽芜菁),芥菜(雪里蕻),油菜(杂双6号)。试验用绿肥种子购于洛阳市关林种子市场。供试烤烟(*Nicotiana tabacum* L.)品种为豫烟6号,由洛阳市烟草公司统一育苗提供。

### 1.3 试验设计

试验共设4个处理组:(1)CK(对照组):烤烟常规栽培,田闲期不播种绿肥;(2)芥菜:田闲期播种芸薹属芥菜作为绿肥;(3)芜菁:田闲期播种芸薹属芜菁作为绿肥;(4)油菜:田闲期播种芸薹属油菜作为绿肥。小区面积 $15\text{ m}^2$ ,每个处理组随机排列,重复3次。

2014年秋季烟叶收获结束后,拔除茎秆,精细整地,做到厢平土碎,上松下实。于2014年10月20日统一撒播绿肥种子,播种量为 $22.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。次年4月初于绿肥盛花期翻压,翻压方法:先用旋耕机将绿肥打碎,然后进行翻耕,翻耕后应达到绿肥植株不外露;同时施用 $300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 烟草专用复合肥( $w(\text{有机质})=25\%$ 、 $w(\text{N})=8\%$ 、 $w(\text{P}_2\text{O}_5)=8\%$ 、 $w(\text{K}_2\text{O})=8\%$ ),然后进行起垄。烟苗于2015年5月6日统一移栽,行距1.2m,株距0.55m。其他田间管理措施与当地优质烟叶栽培技术规程相同。

### 1.4 测定项目与方法

分别于烤烟生长团棵期(移栽后30d)、旺长期(移栽后60d)和成熟期(移栽后90d),每个小区随机选择5株有代表性的烤烟,挖取烤烟根系,并收集抖落的烤烟根际土壤。

(1)烤烟根系经仔细冲洗干净后,分别测定根长、根体积和根系活力,并在70℃烘干至恒质量,称取根系干物质质量。根系活力采用改良的氯化三苯基四氮唑(triphenyltetrazolium chloride, TTC)法测定<sup>[13]</sup>。

(2)土壤脲酶活性采用苯酚钠-次氯酸钠比色法测定,以1g土壤在37℃培养24h后产生的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的质量( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ )表示。土壤蔗糖酶活性采用3,5-二硝基水杨酸比色法测定,以1g土壤在37℃培养24h后生成的葡萄糖的质量( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ )表示。土壤蛋白酶活性采用加勒斯江法测定,以1g土壤在37℃培养24h后生成的甘氨酸的质量( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ )表示。土壤过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定,以1g土壤在37℃培养1h后所消耗的 $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 高锰酸钾溶液体积( $\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ )表示<sup>[14]</sup>。

试验数据采用Microsoft Excel 2003、DPS 6.55和Origin 9.0软件进行统计分析和作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 芸薹属绿肥翻压对烤烟根系生长的影响

表1为田闲期不同芸薹属绿肥品种翻压对烤烟根系生长的影响。由表1可知:随着烤烟生育进程的推进,烤烟的根长、根体积和根干质量均逐渐增加,表现为:成熟期>旺长期>团棵期。与对照组(CK)相比,田闲期不同芸薹属绿肥翻压处理,均显著地增加了不同生育时期烤烟的根长、根体积和根干质量( $P<0.05$ )。从不同芸薹属绿肥品种翻压对烤烟根系生长的增长效应来看,表现为:油菜>芜菁>芥菜。表明芸薹属绿肥翻压能够促进烤烟根系的生长,增强烤烟根系性能,有利于烤烟地上部分的生长发育和产量形成。

### 2.2 芸薹属绿肥翻压对烤烟根系活力的影响

图1为田闲期不同芸薹属绿肥品种翻压对烤烟根系活力的影响。由图1可知:随着烤烟生育进程

的推进,各处理组中烤烟的根系活力均呈现出先增加后降低的趋势,在旺长期达到最大值,表现为:旺长期 > 团棵期 > 成熟期。与对照组(CK)相比,田闲期不同芸薹属绿肥翻压处理均显著地增加了不同生育时期烤烟的根系活力 ( $P < 0.05$ )。从不同芸薹属绿肥品种翻压对烤烟根系活力的效应来看,在团棵期表现为:油菜 > 芥菜 > 芜菁;在旺长期和成熟期表现为:油菜 > 芜菁 > 芥菜;3个生育时期烤烟的根系活力均以油菜绿肥翻压处理最高。表明芸薹属绿肥翻压能够提高烤烟根系活力,对延缓根系衰老具有积极作用。

表1 田闲期不同芸薹属绿肥品种翻压对烤烟根系生长的影响

| 生育时期 | 处理 | 根长/cm                      | 根体积/mL                      | 根干质量/g                     |
|------|----|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 团棵期  | CK | 33.31 ± 0.12 <sup>c</sup>  | 54.73 ± 0.09 <sup>d</sup>   | 27.56 ± 0.11 <sup>c</sup>  |
|      | 芥菜 | 37.69 ± 0.23 <sup>b</sup>  | 58.21 ± 0.31 <sup>c</sup>   | 30.82 ± 0.08 <sup>bc</sup> |
|      | 芜菁 | 40.67 ± 0.15 <sup>ab</sup> | 63.34 ± 0.18 <sup>b</sup>   | 32.47 ± 0.21 <sup>b</sup>  |
|      | 油菜 | 41.06 ± 0.27 <sup>a</sup>  | 67.59 ± 0.22 <sup>a</sup>   | 37.01 ± 0.22 <sup>a</sup>  |
| 旺长期  | CK | 53.41 ± 0.13 <sup>c</sup>  | 155.11 ± 0.41 <sup>c</sup>  | 40.61 ± 0.23 <sup>c</sup>  |
|      | 芥菜 | 56.28 ± 0.08 <sup>b</sup>  | 165.23 ± 0.21 <sup>bc</sup> | 42.07 ± 0.25 <sup>bc</sup> |
|      | 芜菁 | 61.95 ± 0.33 <sup>ab</sup> | 174.47 ± 0.32 <sup>b</sup>  | 44.74 ± 0.24 <sup>b</sup>  |
|      | 油菜 | 63.37 ± 0.25 <sup>a</sup>  | 180.93 ± 0.23 <sup>a</sup>  | 48.54 ± 0.34 <sup>a</sup>  |
| 成熟期  | CK | 65.21 ± 0.22 <sup>c</sup>  | 225.68 ± 0.23 <sup>c</sup>  | 53.83 ± 0.31 <sup>c</sup>  |
|      | 芥菜 | 68.75 ± 0.31 <sup>b</sup>  | 235.44 ± 0.24 <sup>bc</sup> | 57.88 ± 0.22 <sup>b</sup>  |
|      | 芜菁 | 72.69 ± 0.28 <sup>a</sup>  | 244.15 ± 0.14 <sup>b</sup>  | 58.56 ± 0.33 <sup>ab</sup> |
|      | 油菜 | 73.87 ± 0.14 <sup>a</sup>  | 263.37 ± 0.39 <sup>a</sup>  | 60.69 ± 0.28 <sup>a</sup>  |

注:同列同生育时期数据后,不同的小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

### 2.3 芸薹属绿肥翻压对土壤脲酶活性的影响

图2为田闲期不同芸薹属绿肥品种翻压对土壤脲酶活性的影响。由图2可知:随着烤烟生育进程的推进,植烟土壤脲酶的活性逐渐升高,表现为:成熟期 > 旺长期 > 团棵期。与对照组(CK)相比,除团棵期芥菜绿肥处理组 ( $P > 0.05$ )外,田闲期不同芸薹属绿肥翻压均显著地提高了不同生育时期土壤脲酶活性 ( $P < 0.05$ )。就不同芸薹属绿肥品种翻压对土壤脲酶活性的效应来看,团棵期3种绿肥翻压对土壤脲酶活性的影响较小,不同处理组间差异不显著。旺长期和成熟期油菜绿肥和芜菁绿肥翻压处理土壤脲酶的活性较强,显著高于芥菜绿肥。土壤脲酶直接参与土壤中含氮有机化合物的转化,可以提高氮的生物有效性。芸薹属绿肥翻压能够提高植烟土壤脲酶的活性,表明芸薹属绿肥翻压有助于烤烟对氮素的吸收。

### 2.4 芸薹属绿肥翻压对土壤蔗糖酶活性的影响

图3为田闲期不同芸薹属绿肥品种翻压对土壤蔗糖酶活性的影响。由图3可知:随着烤烟生育进程的推进,植烟土壤蔗糖酶的活性也缓慢升高,表现为:成熟期 > 旺长期 > 团棵期。与对照组(CK)相比,田闲期不同芸薹属绿肥翻压,均显著地提高了不同生育时期土壤蔗糖酶的活性 ( $P < 0.05$ )。就不同芸薹属绿肥品种翻压对土壤蔗糖酶活性的效应来看,团棵期以油菜绿肥和芜菁绿肥翻压处理土壤蔗糖酶的活性较强,且显著高于芥菜绿肥;旺长期和成熟期3种绿肥翻压处理间差异显著,表现为:油菜 >

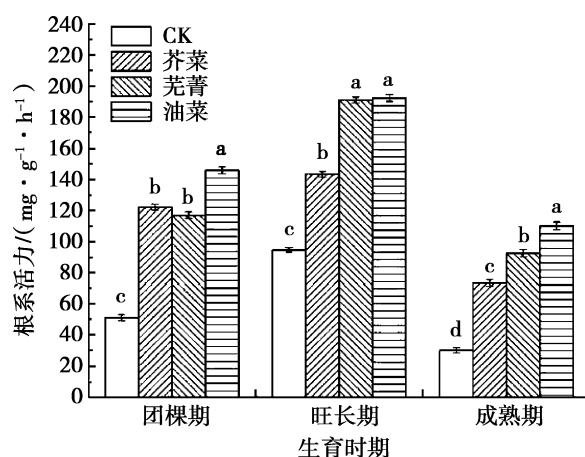


图1 田闲期不同芸薹属绿肥品种翻压对烤烟根系活力的影响(同一生育时期,小写字母不同表示处理间差异显著,  $P < 0.05$ ,下同)

芜菁 > 芥菜。蔗糖酶直接参与土壤碳循环,常用来表征土壤碳素营养状况。芸薹属绿肥翻压能够提高土壤蔗糖酶的活性,表明芸薹属绿肥翻压有助于增强土壤微生物的活度。

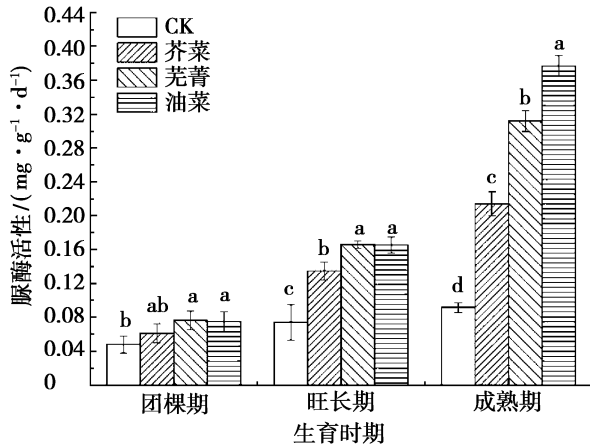


图2 田闲期不同芸薹属绿肥品种翻压对土壤脲酶活性的影响

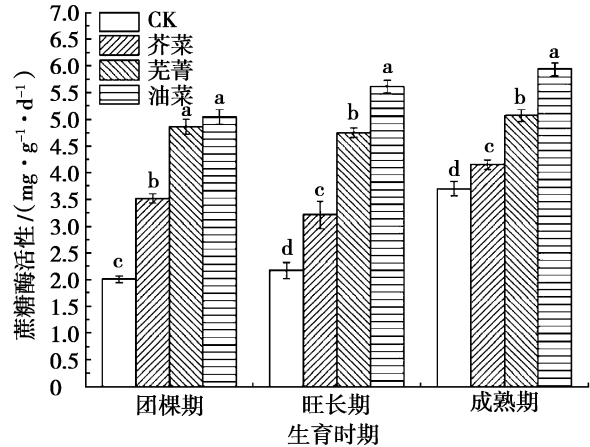


图3 田闲期不同芸薹属绿肥品种翻压对土壤蔗糖酶活性的影响

2.5 芸薹属绿肥翻压对土壤蛋白酶活性的影响

图4为田闲期不同芸薹属绿肥品种翻压对土壤蛋白酶活性的影响。由图4可知:油菜绿肥翻压处理土壤蛋白酶的活性表现为旺长期 > 成熟期 > 团棵期;其他处理土壤蛋白酶的活性随烤烟生育进程的推进逐渐升高。与对照组(CK)相比,田闲期不同芸薹属绿肥翻压均显著地提高了不同生育时期土壤蛋白酶的活性 (P < 0.05)。就不同芸薹属绿肥品种翻压对土壤蛋白酶活性的效应来看,团棵期和成熟期以芜菁绿肥翻压处理土壤蛋白酶的活性最强,表现为:芜菁 > 油菜 > 芥菜;旺长期以油菜绿肥翻压处理土壤蛋白酶的活性最强,表现为:油菜 > 芜菁 > 芥菜。蛋白酶参与土壤中氨基酸、蛋白质以及其他物质的转化,土壤蛋白酶的活性强度常被用来表征土壤氮素供应状况。芸薹属绿肥翻压能够提高植烟土壤蛋白酶的活性,表明芸薹属绿肥翻压能够增强土壤的供氮性能。

2.6 芸薹属绿肥翻压对土壤过氧化氢酶活性的影响

图5为田闲期不同芸薹属绿肥品种翻压对土壤过氧化氢酶活性的影响。由图5可知:随着烤烟生育进程的推进,植烟土壤过氧化氢酶的活性缓慢升高,表现为:成熟期 > 旺长期 > 团棵期。与对照组(CK)相比,除团棵期芥菜绿肥处理组 (P > 0.05) 外,田闲期不同芸薹属绿肥翻压均显著地提高了不同生育时期土壤过氧化氢酶的活性 (P < 0.05)。就不同芸薹属绿肥品种翻压对土壤过氧化氢酶的效应来看,3个生育时期均以油菜绿肥翻压处理土壤过氧化氢酶的活性最强,芜菁绿肥次之,芥菜绿肥最低。过

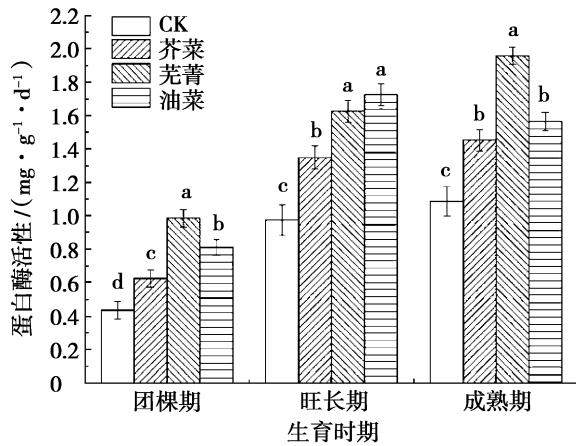


图4 田闲期不同芸薹属绿肥品种翻压对土壤蛋白酶活性的影响

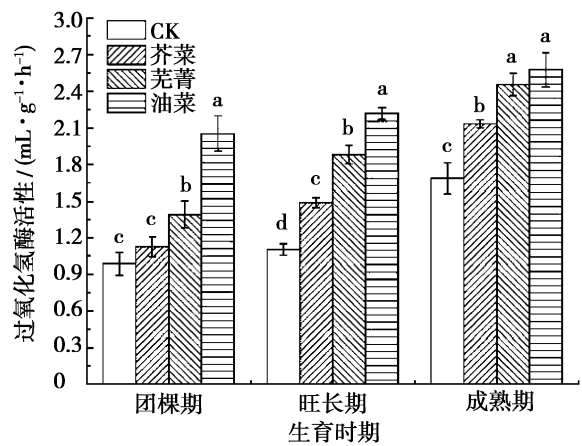


图5 田闲期不同芸薹属绿肥品种翻压对土壤过氧化氢酶活性的影响

氧化氢酶直接参与生物呼吸过程的物质代谢,清除在呼吸过程中产生的对活细胞有害的过氧化氢,其活性强度常用来表征土壤氧化强度。芸薹属绿肥翻压能够提高土壤过氧化氢酶的活性,表明芸薹属绿肥翻压有助于防止过氧化氢对烤烟的毒害作用。

### 3 讨论

根系是作物吸收养分、水分等物质的重要器官<sup>[15]</sup>。烤烟根系特征与地上部分生长发育、抗逆性及产量品质形成的关系密切<sup>[5,12]</sup>。本文结果表明:田闲期十字花科芸薹属绿肥翻压显著提高了烤烟的根系活力,增加了各生育时期烤烟的根长、根体积和根干质量。这与文献[16]得到的在冬季翻压绿肥能够显著增强烤烟的根系活力,促进烤烟根系的生长,提高烟叶产量和品质的结果相一致。芸薹属绿肥翻压能够提高烤烟的根系生长,增强烤烟根系性能的原因,可能与芸薹属绿肥翻压改善了植烟土壤的理化特性和微生态环境,增强了土壤保肥供肥能力有关。文献[17]研究表明:油菜作为绿肥翻压后可以有效地降低土壤的容重和pH值,提高土壤的有机质,而且能大量增加土壤中微生物的数量。文献[18]的研究也表明:黑麦草和油菜绿肥还田能够明显提高土壤有效磷钾养分含量,对烟田土壤培肥和烤烟产量品质具有积极的作用。

土壤酶是土壤中活跃的有机成分之一,其活性高低反映了土壤养分转化的特征,对协调土壤生态系统的碳、氮平衡,维持土壤健康及在植物生长所需养分的供给过程中起到重要作用<sup>[19-20]</sup>。本文结果表明:3种十字花科芸薹属绿肥翻压均可不同程度地提高植烟土壤脲酶、蔗糖酶、蛋白酶和过氧化氢酶活性。文献[21]研究表明:连年翻压绿肥能够提高土壤中细菌、真菌和放线菌的数量以及土壤微生物量碳的含量,有利于土壤中脲酶、过氧化氢酶和酸性磷酸酶活性的提高。文献[22]的研究也表明:翻压绿肥能显著提高土壤微生物量碳、土壤微生物量氮及土壤脲酶、酸性磷酸酶、蔗糖酶、过氧化氢酶的活性。绿肥翻压能够提高土壤酶活性的原因,主要是由于绿肥是一种优质的有机肥料,翻压后可为微生物提供大量的有机碳源,改善了土壤的物理性能和微生态环境,增强了土壤微生物活性,从而促进土壤酶活性的提高<sup>[23]</sup>。

不同绿肥品种通常具有不同的生态适应性,而且不同绿肥品种翻压后腐解和养分释放特征也存在一定差异<sup>[24]</sup>,因此,不同绿肥品种还田对土壤酶活性、土壤供肥特性及下茬作物的生长状况均产生一定的影响。从本试验结果看,3种芸薹属绿肥品种对烤烟根系生长和土壤酶活性影响的效应不同,以芸薹属油菜绿肥翻压,更有利于提高植烟土壤酶活性和烤烟的根系生长。这可能与油菜绿肥在豫西旱区具有较强的生态适应性<sup>[25]</sup>和富含磷、钾特性有关<sup>[26]</sup>。

### 4 结论

(1)芸薹属绿肥翻压提高了植烟土壤酶的活性,增强了烤烟不同生育时期的根系活力,促进了烤烟根系的生长。在烤烟生产田闲期种植芸薹属绿肥翻压能够改善土壤性能、增强土壤的供肥特性,促进烤烟根系发育,有利于豫西旱区植烟土壤的保育和可持续发展。然而,芸薹属绿肥翻压对烟叶产量及烤后烟叶内在品质的影响有待于进一步研究。

(2)比较3种芸薹属绿肥对植烟土壤酶活性和烤烟根系生长的影响,以芸薹属油菜绿肥翻压在豫西烟区的效应最佳。

#### 参考文献:

- [1] 袁晓霞. 浅析我国烟叶生产面临的主要问题[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(5): 77-80.
- [2] 叶协锋, 杨超, 李正, 等. 绿肥对植烟土壤酶活性及土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 445-454.
- [3] 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.
- [4] 邓小华, 罗伟, 周米良, 等. 绿肥在湘西烟田中的腐解和养分释放动态[J]. 烟草科技, 2015, 48(6): 13-18.

- [5] 赵炯平,邓小华,江智敏,等.不同绿肥翻压还土后植烟土壤主要养分动态变化[J].作物研究,2015,29(2):161-165.
- [6] 李鲜,陈昆松,张明方,等.十字花科植物中硫代葡萄糖苷的研究进展[J].园艺学报,2006,33(3):675-679.
- [7] 乔世佳,李淑敏,孟令波,等.芸薹属植物对四种土传病原微生物熏蒸效果的研究[J].东北农业大学学报,2010,41(5):19-24.
- [8] 王丹英,彭建,徐春梅,等.油菜作绿肥还田的培肥效应及对水稻生长的影响[J].中国水稻科学,2012,26(1):85-91.
- [9] 李子双,廉晓娟,王薇,等.我国绿肥的研究进展[J].草业科学,2013,30(7):1135-1140.
- [10] 王小东,许自成,李群平,等.洛阳地区植烟土壤养分肥力测定与综合评价[J].河南科技大学学报(自然科学版),2008,29(4):83-86.
- [11] 韩锦峰,齐群钢.烟株根系活力与烟叶性状、化学成分的相关关系研究及提高根系活力的栽培措施[J].中国烟草,1988(2):11-14.
- [12] 张黎明,邓小华,周米良,等.不同种类绿肥翻压还田对植烟土壤微生物量及酶活性的影响[J].中国烟草科学,2016,37(4):13-18.
- [13] 罗来超,苗艳芳,李生秀,等.氮素形态对小麦幼苗生长及根系生理特性的影响[J].河南科技大学学报(自然科学版),2013,34(4):81-84.
- [14] 关松荫.土壤酶及其研究方法[M].北京:中国农业出版社,1986:278-280.
- [15] 未晓巍,吕杰,武慧,等.植物根系研究进展[J].北方园艺,2012(18):206-209.
- [16] 朱金峰,贾健,王蒙蒙,等.绿肥掩青对烤烟土壤及烟叶致香成分的影响[J].现代农业科技,2015(19):11-13,16.
- [17] 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.
- [18] 黄平娜,秦道珠,龙怀玉,等.绿肥还田对烟田土壤培肥和烤烟产量品质的作用[J].土壤通报,2010,41(2):379-382.
- [19] 陈丹梅,陈晓明,梁永江,等.种植模式对土壤酶活性和真菌群落的影响[J].草业学报,2015,24(2):77-84.
- [20] 刘领,王艳芳,宋久洋,等.生物炭与氮肥减量配施对烤烟生长及土壤酶活性的影响[J].河南农业科学,2016,45(2):62-66.
- [21] 倡国涵,赵书军,王瑞,等.连年翻压绿肥对植烟土壤物理及生物性状的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(4):905-912.
- [22] 李正,刘国顺,敬海霞,等.翻压绿肥对植烟土壤微生物量及酶活性的影响[J].草业学报,2011,20(3):225-232.
- [23] 官会林,郭云周,张云峰,等.绿肥轮作对植烟土壤酶活性与微生物量碳和有机碳的影响[J].生态环境学报,2010,19(10):2366-2371.
- [24] 潘福霞,鲁剑巍,刘威,等.三种不同绿肥的腐解和养分释放特征研究[J].植物营养与肥料学报,2011,17(1):216-223.
- [25] 李继伟,周俊学,张喜文,等.烤烟田休闲期5种绿肥的生物量及硫苷含量比较[J].湖北农业科学,2016,55(19):5056-5058,5132.
- [26] 李红燕,胡铁成,曹群虎,等.旱地不同绿肥品种和种植方式提高土壤肥力的效果[J].植物营养与肥料学报,2016,22(5):1310-1318.