

饼肥等氮替代化肥对植烟土壤养分、酶活性和氮素利用的影响

季璇^{1,2}, 冯长春³, 郑学博¹, 宋文静¹, 陈玉蓝³, 况帅¹, 董建新^{1*}, 杜如万^{4*}

(1. 中国农业科学院烟草研究所, 青岛 266101; 2. 中国农业科学院研究生院, 北京 100081; 3. 四川省烟草公司凉山州公司, 四川 凉山 615000; 4. 中国烟草总公司四川省公司, 成都 610000)

摘要: 为探明四川凉山植烟区适宜的施肥方式, 改善烟区土壤肥力和烤烟氮素利用状况, 通过田间试验, 研究等氮条件下菜籽饼肥替代化肥对土壤养分、酶活性及氮素利用的影响。结果表明, 菜籽饼肥氮替代 30% 化肥氮处理显著提高植烟土壤总有机碳、可溶性有机碳、有效磷、速效钾含量和土壤脲酶活性, 显著降低了土壤 pH 和烤烟成熟期土壤过氧化物酶和多酚氧化酶活性。Pearson 相关分析表明, 土壤过氧化物酶和多酚氧化酶活性与可溶性有机碳负相关性较强, 土壤多酚氧化酶活性与 NO_3^- -N 含量极显著正相关, 土壤过氧化物酶活性与 NH_4^+ -N 含量极显著正相关。土壤脲酶活性与土壤有机碳极显著正相关, 与有效磷、速效钾以及碳氮比显著正相关, 而与 pH 极显著负相关。菜籽饼肥氮替代 30% 化肥氮处理显著提高了烤烟成熟期干物质积累量、氮含量、氮积累量和氮素利用率。菜籽饼肥氮替代 30% 化肥氮是改善土壤肥力, 提高烤烟生长和氮素利用的适宜施肥方式。

关键词: 菜籽饼肥; 等氮替代; 植烟土壤; 氮素利用

中图分类号: S572.06

文章编号: 1007-5119 (2019) 05-0023-07

DOI: 10.13496/j.issn.1007-5119.2019.05.004

Effects of Combined Application of Rapeseed Cake and Chemical Fertilizers on Nutrients, Enzyme Activity of Tobacco Growing Soil and Nitrogen Utilization

Ji Xuan^{1,2}, Feng Changchun³, Zheng Xuebo¹, Song Wenjing¹, Chen Yulan³,
Kuang Shuai¹, Dong Jianxin^{1*}, Du Ruwan^{4*}

(1. Institute of Tobacco Research of CAAS, Qingdao 266101, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 3. Liangshan Tobacco Company of Sichuan Province, Liangshan 615000, China; 4. Sichuan Tobacco Company of China National Tobacco Corporation, Chengdu 610000, China.)

Abstract: In order to find out the suitable fertilization methods and improve the soil fertility and nitrogen utilization of flue-cured tobacco in tobacco planting areas of Liangshan, Sichuan, field experiments were conducted to study the effects of combined application of rapeseed cake and chemical fertilizer on tobacco growing soil nutrients, enzyme activities and nitrogen utilization under same nitrogen conditions. The results showed that rapeseed cake fertilizer nitrogen replacement 30% chemical fertilizer nitrogen treatment significantly increased the contents of total organic carbon, dissolved organic carbon, available phosphorus, available potassium and soil urease activity; significantly decreased soil pH, activities of soil peroxidase and polyphenol oxidase in flue-cured tobacco mature stage. Pearson correlation analysis showed that the activities of soil peroxidase and polyphenol oxidase were negatively correlated with dissolved organic carbon, soil polyphenol oxidase activity was significantly positively correlated with NO_3^- -N content, soil peroxidase activity was significantly positively correlated with NH_4^+ -N content. soil urease activity was significant positively correlated with soil carbon, available phosphorus, available potassium and carbon nitrogen ratio, but significant negatively correlated with soil pH. rapeseed cake fertilizer nitrogen replacement 30% chemical fertilizer nitrogen treatment significantly improved flue-cured tobacco dry matter accumulation, nitrogen content, nitrogen accumulation and nitrogen utilization rate in the mature stage. The replacement of 30% chemical fertilizer nitrogen by rapeseed cake fertilizer is a suitable fertilization method to improve soil fertility and increase the growth of flue-cured tobacco and nitrogen utilization.

Keywords: rapeseed cake fertilizer; equal nitrogen replacement; tobacco planting soil; nitrogen utilization

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程 (ASTIP-TRIC03); 中国烟草总公司四川省公司科技项目“凉山山地原生态特色烟叶关键生产技术研究应用与品牌开发” (LSYC201601); 四川省烟草公司凉山州公司科技项目“凉山烟草促进烟农增收示范基地建设” (201851340024339)

作者简介: 季璇 (1994-), 女, 硕士研究生, 主要从事植烟土壤肥力提升研究。E-mail: jixuan2018@126.com

*通信作者, E-mail: dongjianxin@caas.cn; lsycyks@163.com

收稿日期: 2019-06-02

修回日期: 2019-08-30

施用有机肥一直是我国烟区土壤保育和提升烤烟品质的一项重要举措,近年来有机肥部分替代化肥已成为我国烟区普遍采用的一种施肥模式,这也是实现我国2020年化肥零增长的重要途径^[1-3]。研究发现,施用有机肥可显著提高烤烟生长中后期土壤C/N、土壤活性碳和活性氮的质量分数,同时土壤总有机碳和总有机氮的质量分数也显著提高,进而促进烤烟生长中后期营养的持续均衡供应^[4];有机肥配施无机肥可显著提高植烟土壤有机质、碱解氮、速效磷和速效钾含量以及土壤过氧化氢酶和脲酶的活性^[5];配施菌肥能显著提高植烟土壤有机碳和速效养分含量、显著增加土壤脲酶活性,从而提高土壤肥力^[6]。

菜籽饼肥是我国南方烟区的重要有机肥源,研究表明,腐熟的菜籽饼肥对植烟土壤养分、烤烟根系生长、氮素利用率和土壤碳矿化、氮矿化提高均具有显著影响^[7-8]。基于此本研究采用大田试验,研究等氮量条件下菜籽饼肥部分替代化肥对我国四川凉山烟区土壤养分、酶活性及氮素利用的影响,以期确定为适宜的有机-无机配施模式,进一步提升土壤质量和保障烤烟生产可持续发展提供理论依据和科学指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验于2018年4—10月进行,试验区位于四川省西昌市大兴乡新民村中国农业科学院西南烟草试验基地(102°21'E, 27°50'N),海拔1670 m。供试土壤为紫色砂岩发育的紫色土,经调查有较长种植水稻的历史,后改为旱作。为平衡地力,试验地经整治后连续3年(2015—2017年)每年5—9

月种植水稻,10月至次年4月闲置。0~20 cm表层土壤基本理化性质为:pH 7.51,有机质 15.83 g/kg,全氮 0.90 g/kg,碱解氮 73.73 mg/kg,有效磷 10.61 mg/kg,速效钾 106.62 mg/kg。

1.2 试验设计

试验共设置4个处理:CK(不施肥);T1(常规氮磷钾施肥);T2(70%化肥氮+30%菜籽饼肥氮,磷钾用量同T1处理);T3(单施菜籽饼肥氮,磷钾用量同T1处理)。各小区随机排列,3次重复。小区面积47 m²,各小区间用水泥埂隔开。供试氮肥为硝酸铵钙(含N 15.5%),磷肥为过磷酸钙(含P₂O₅ 12%),钾肥为硫酸钾(含K₂O 50%),有机肥为经堆捂发酵腐熟的菜籽饼肥,其C、N、P₂O₅和K₂O含量分别为465、50、15和15 g/kg,C/N为9.30。所有肥料全部基施,各处理肥料具体用量见表1。供试烤烟品种为云烟87,于2018年5月10日移栽,行距、株距分别为110 cm、50 cm。

1.3 试验方法

于烤烟成熟采摘期,各小区“S”形选取5个点,用直径5 cm土钻采集0~20 cm土样,混匀和去杂后分为两部分:一部分4℃保存(过2 mm筛),一部分风干后室温保存(分别过2 mm和0.145 mm筛)。

土壤属性测定方法:有机质采用重铬酸钾-硫酸外加热法;全氮采用半微量凯氏定氮法;NH₄⁺-N和NO₃⁻-N先用KCl溶液(1 mol/L)浸提(新鲜土壤),过滤后采用Seal-AA3连续流动分析仪测定^[9];pH采用电位法 $[m(\text{水})/m(\text{土})=2.5/1]$;有效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法;速效钾采用乙酸铵浸提-火焰光度法^[10];可溶性有机碳(DOC)采用K₂SO₄[0.5 mol/L, $m(\text{水})/m(\text{土})=5/1$]浸提,

表1 各处理田间施肥量

处理 Treatment	养分投入量 Nutrient input			菜籽饼肥 Rapeseed cake	硝酸铵 Calcium ammonium nitrate	过磷酸钙 Calcium superphosphate	硫酸钾 Potassium sulfate
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O				
CK	0	0	0	0	0	0	0
T1	105	105	315	0	677	875	630
T2	105	105	315	630	474	796	611
T3	105	105	315	2100	0	612	567

kg/hm²

Multi N/C-3100 型 TOC 分析仪测定^[11]。土壤过氧化物酶、多酚氧化酶及脲酶采用苏州科铭生物技术有限公司提供的试剂盒进行测定。

植株样品采集及其测定：烤烟打顶后（移栽第 70 天），各小区选取 5 株代表性烟株，洗净风干后分根、茎、叶和花序，105 °C 杀青 30 min，75 °C 烘至恒重后分别测定质量，然后粉碎过筛（0.25 mm），H₂SO₄-H₂O₂ 消煮，凯氏定氮法测定全氮^[10]。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2016 处理数据，绘制图表。单因素方差分析（One-way ANOVA）和相关性分析（Pearson 指数）使用 SAS 9.4 软件，采用 Duncan 新复极差法进行差异显著性分析（*p* < 0.05）。

2 结 果

2.1 菜籽饼肥对土壤有机碳和可溶性有机碳含量的影响

由表 2 看出，T2 处理较 CK 处理显著提高有机碳含量，T1 和 T3 处理也有提高，但各施肥处理间无显著差异。可溶性有机碳方面，T2 处理较 CK 和 T1 处理分别显著提高 42.86% 和 57.89%；T3 处理较

表 2 菜籽饼肥对土壤有机碳，可溶性有机碳及其分配比例的影响

Table 2 Effects of rapeseed cake on soil organic carbon, dissolved organic carbon and their ratio

处理	有机碳	可溶性有机碳	可溶性有机碳
Treatment	SOC/(g·kg ⁻¹)	DOC/(mg·kg ⁻¹)	比例 DOC/SOC
CK	6.35 ± 0.07 b	50.42 ± 4.82 b	0.79 ± 0.07 a
T1	7.74 ± 0.92 ab	45.62 ± 2.00 b	0.64 ± 0.05 a
T2	8.66 ± 0.56 a	72.03 ± 11.62 a	0.84 ± 0.19 a
T3	8.30 ± 0.02 ab	68.99 ± 3.42 ab	0.83 ± 0.04 a

注：表中数据为平均数 ± 标准偏差。同列数据后不同字母表示经 Duncan's 多重比较法验证在 *p* < 0.05 水平上差异显著。下同。

Note: The data in the table were mean ± standard deviation. Values followed by different letters were significantly different by verification of Duncan's multiple comparison method at 0.05 probability level for the same growth stage. The same below.

CK 和 T1 处理分别显著提 36.83% 和 51.23%。各处理的溶解性有机碳比例大小为 T2>T3>CK>T1，处理间无显著性差异。

2.2 菜籽饼肥对土壤速效养分、pH 和 C/N 的影响

由表 3 可见，施肥提高土壤 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 含量，T1 处理最高。T1、T2 和 T3 处理 NH₄⁺-N 含量较 CK 处理分别显著提高 187.87%、27.87%、30.50%，NO₃⁻-N 含量提高 79.87%、29.07%、10.22%。T1、T2 和 T3 处理有效磷和速效钾含量显著高于 CK 处理；T2 处理有效磷含量较 T3 和 T1 处理显著提高 60.08% 和 131.05%，速效钾含量分别提高 44.65% 和 43.72%。较 CK 和 T1 处理，T2 处理 pH 显著下降 0.17~0.34 个单位，T3 处理显著降低 0.12~0.29 个单位。T2 处理的 C/N 较 CK 和 T1 处理提高 10.37% 和 21.11%，T3 处理提高 8.19% 和 18.71%。

2.3 菜籽饼肥对土壤酶活的影响及其与土壤养分指标间相关关系

由图 1A 可知，T1 处理较 CK 处理显著提高土壤多酚氧化酶活性，T3 处理显著降低该酶活性。图 1B 显示，较 CK 处理，T1 处理显著提高土壤过氧化物酶活性，T2 和 T3 处理均降低了该酶活性。施肥均显著提高了土壤脲酶活性（图 1C），各施肥处理间无显著性差异。

由表 4 可知，土壤多酚氧化酶活性与过氧化物酶均与可溶性有机碳含量负相关性较大（*r* < -0.500），土壤多酚氧化酶活性与 NO₃⁻-N 含量呈极显著正相关关系，而土壤过氧化物酶活性不仅与 NO₃⁻-N 含量显著正相关，还与 NH₄⁺-N 含量存在极显著正相关关系。土壤脲酶活性与土壤有机碳呈极显著正相关，与有效磷、速效钾以及 C/N 显著正相关，而与 pH 呈极显著负相关关系。

表 3 菜籽饼肥对土壤速效养分、pH 和 C/N 的影响

Table 3 Effects of rapeseed cake on soil available nutrients, pH and C/N

处理	全氮	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	有效磷	速效钾	pH	C/N
Treatment	Total nitrogen/ (g·kg ⁻¹)	Ammonium nitrogen/(mg·kg ⁻¹)	Nitrate nitrogen/ (mg·kg ⁻¹)	Available Phosphorus/ (mg·kg ⁻¹)	Available potassium/ (mg·kg ⁻¹)		
CK	0.95 ± 0.04 a	13.85 ± 0.01 c	6.26 ± 0.24 c	10.67 ± 0.22 d	120.40 ± 6.80 c	7.68 ± 0.00 a	6.68 ± 0.38 a
T1	1.06 ± 0.01 a	39.87 ± 0.10 a	11.26 ± 0.21 a	16.94 ± 3.12 c	167.84 ± 0.48 b	7.51 ± 0.02 b	7.33 ± 0.82 a
T2	1.07 ± 0.02 a	17.71 ± 0.14 bc	8.08 ± 0.19 b	39.14 ± 0.35 a	241.24 ± 7.04 a	7.34 ± 0.05 c	8.09 ± 0.64 a
T3	1.06 ± 0.03 a	21.00 ± 2.65 b	6.90 ± 0.19 c	24.45 ± 0.16 b	166.77 ± 15.50 b	7.39 ± 0.05 c	7.93 ± 0.18 a

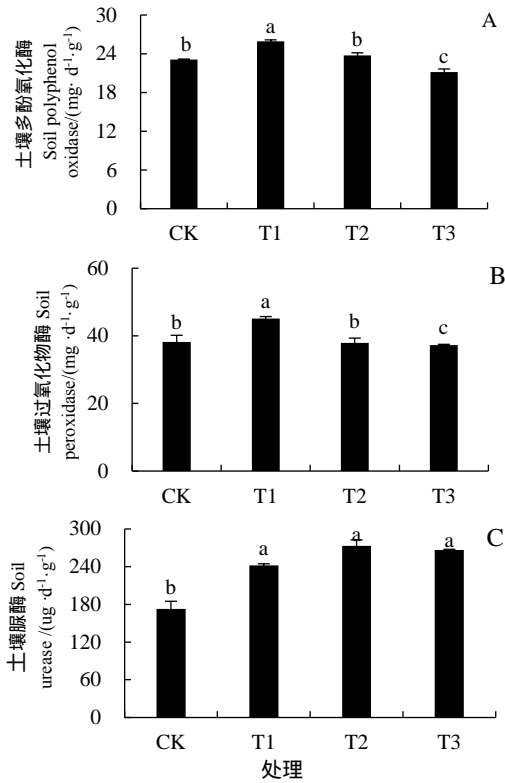


图1 菜籽饼肥对土壤多酚氧化酶(A)、土壤过氧化物酶(B)、土壤脲酶(C)活性的影响

Fig. 1 Effects of rapeseed cake on activities of soil polyphenol oxidase (A), soil peroxidase (B) and soil urease (C)

2.4 菜籽饼肥对烤烟成熟期干物质积累量、氮素积累量及氮素利用率的影响

图2显示,烤烟成熟期,T2处理根、茎、叶的干物质积累量显著高于CK处理,与其他处理差异不显著;而花序的干物质积累量显著高于其他3个处理。由表5可知,烤烟打顶后,T2处理有明显提高烤烟氮含量的趋势,各部位氮含量均高于其他处理。氮积累量方面(表6),T2处理显著提高烤烟不同部位氮积累量,大小关系为T2>T1>T3>CK。由表7可知,T2处理显著增加氮积累量,各处理差异显著。T2处理的氮素利用率最高,显著高于T1和T3处理。

3 讨论

研究表明,土壤有机碳总量短期内很难发生显著变化,而可溶性有机碳作为土壤微生物碳源和土壤养分库,其含量变化动态直接影响土壤有机碳的累积和分解,能更灵敏地响应施肥措施。此外,可溶性有机碳比例更能反映土壤有机碳的质量和

表4 土壤酶活性与土壤肥力指标间的皮尔逊相关系数

Table 4 Pearson correlation coefficients of soil fertility index with soil enzyme activities

土壤酶 Soil enzyme	有机碳 SOC	可溶性有机碳 DOC	NH ₄ ⁺ -N Ammonium nitrogen	NO ₃ ⁻ -N Nitrate nitrogen	有效磷 Available phosphorus	速效钾 Available potassium	C/N Carbon/ Nitrogen ratio	pH
土壤多酚氧化酶 Soil polyphenol oxidase	-0.079	-0.550	0.671	0.846**	-0.136	-0.102	-0.178	0.271
土壤过氧化物酶 Soil peroxidase	-0.082	-0.507	0.891**	0.830*	-0.318	-0.042	-0.189	0.148
土壤脲酶 Soil urease	0.904**	0.612	0.257	0.325	0.798*	0.776*	0.773*	-0.916**

注: *和**分别表示 $p < 0.05$ 和 $p < 0.01$ 水平上的相关。Note: *and **represents significant correlation at 0.05 and 0.01 level, respectively.

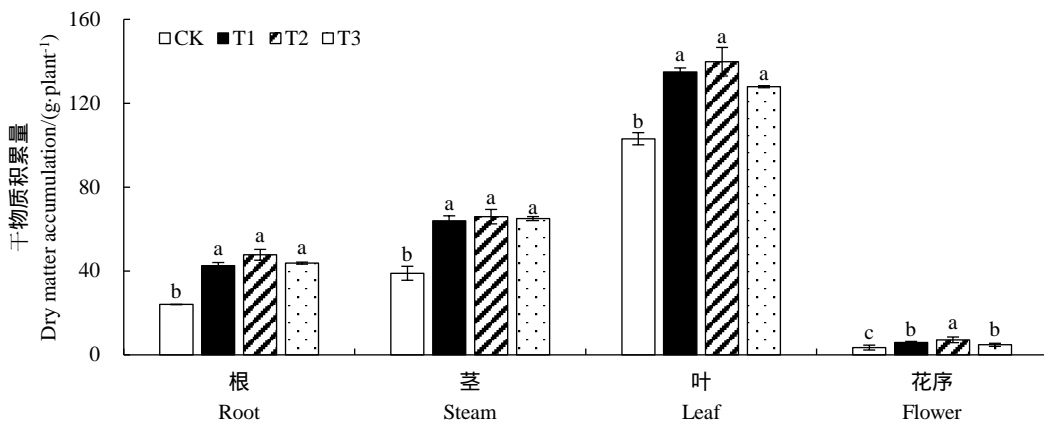


图2 不同处理烤烟成熟期干物质积累量的变化

Fig. 2 Changes of dry matter accumulation in flue-cured tobacco at mature stage under different treatments

表 5 不同处理烤烟各部位氮含量的差异

Table 5 Difference of nitrogen content in different parts of flue-cured tobacco under different treatments %

处理	根	茎	叶	花序
Treatment	Root	Stem	Leaf	Flower
CK	1.52 ± 0.05 b	1.04 ± 0.01 b	0.94 ± 0.03 b	3.55 ± 0.23 b
T1	1.75 ± 0.24 b	1.37 ± 0.07 ab	1.46 ± 0.07 a	3.91 ± 0.12 ab
T2	2.09 ± 0.04 a	1.73 ± 0.21 a	1.46 ± 0.02 a	4.13 ± 0.08a
T3	1.64 ± 0.13 b	1.19 ± 0.08 b	0.77 ± 0.02 c	3.81 ± 0.08ab

表 6 不同处理烤烟各部位氮积累量的差异 mg/株

Table 6 Difference of nitrogen accumulation in different parts of flue-cured tobacco under different treatments mg/plant

处理	根	茎	叶	花序
Treatment	Root	Stem	Leaf	Flower
CK	375.92±1.29c	403.02 ±30.43 c	967.43±7.65b	121.75±33.10c
T1	744.45±76.99b	874.85±13.57b	1963.80±63.35a	229.17±29.40b
T2	955.95±72.89a	1133.67±79.50a	2034.83 ±77.01a	297.09±61.78a
T3	719.31± 64.17b	733.05±42.15 b	984.06±35.40b	182.72±31.88b

表 7 不同处理烤烟氮素利用差异

Table 7 Difference of nitrogen utilization of flue-cured tobacco under different treatments

处理	氮积累量	氮素利用率
Treatment	N accumulation/(kg hm ⁻²)	N utilization rate/%
CK	33.45 ± 1.21 d	—
T1	68.62 ± 2.81 b	33.50 ± 1.53 b
T2	80.31 ± 2.47 a	44.63 ± 1.20 a
T3	47.86 ± 1.61 c	13.73 ± 0.38 c

稳定性, 比值越高有机碳活性越高、周转越快, 越易被作物和微生物吸收利用^[12]。本研究中, 施用菜籽饼肥均提升了土壤有机碳和可溶性有机碳含量, 这与贺美等^[13]与陈洁等^[14]研究结果一致。其原因可能是菜籽饼肥本身有机碳含量高易被微生物分解利用, 土壤微生物活性提高, 促进了土壤中难分解有机碳的降解^[15], 加速了土壤碳周转。菜籽饼肥所含的可溶性有机碳和微生物分解产生的可溶性有机碳共同提高了可溶性有机碳的比例。

土壤碱解氮、有效磷和速效钾是反映土壤养分供给的主要指标^[10]。有机肥可显著增加土壤有效磷和速效钾含量, 而有机无机肥配施更利于维持土壤供钾能力^[16]。本研究发现, 纯化肥处理(T1)的无机氮肥供氮强度显著强于其他处理, 然而氮素利用率却不是最高的, 说明只施化肥在该地区易发生NH₄⁺-N与NO₃⁻-N的径流和淋溶损失, 不能被烤烟充分吸收利用^[17]。菜籽饼肥配施化肥(T2)显著提

高了土壤速效钾含量, 可满足烤烟生长期对钾的大量需求, 进而提高烟叶质量。此外, 菜籽饼肥显著提高了土壤磷的有效性, 原因可能是该处理土壤pH的下降(表3)促进了土壤中结合态磷的溶解。土壤碳氮比是预测土壤碳氮平衡的重要指标, 对烤烟种植而言, 烟田土壤适宜的C/N大致为20~40^[18], 而表3中碳氮比数据均在9以下, 表明其有待进一步提升。施菜籽饼肥较对照提高土壤碳氮比值9.73%~21.11%, 可见菜籽饼肥有提高土壤碳氮比的潜力, 进而影响土壤碳、氮固定和矿化, 调节土壤碳、氮供应强度。

土壤过氧化物酶和多酚氧化酶活性与土壤腐殖质化程度显著负相关^[19]。烤烟成熟期, 与只施化肥相比, 施用菜籽饼肥显著降低了以上两种酶活性。表明菜籽饼肥直接增加土壤有机物料源的同时促进了土壤中有机的腐殖质化进程, 有利于土壤有机碳水平的提高。土壤脲酶是专一性酰胺酶, 存在于多数真菌和细菌中^[20], 专一性促进土壤有机氮向无机氮转化。本研究中, 土壤脲酶活性在菜籽饼肥配施处理中最大, 这与张恩平等^[21]研究结果一致, 其原因是菜籽饼肥自身氮素以蛋白质氮为主, 需经微生物分解才能被作物吸收利用, 菜籽饼肥既增加了土壤有机氮源, 又可通过改良土壤通气性促进细菌真菌繁殖生长, 最终提高了土壤脲酶活性, 促进了土壤有机氮转化。相关性分析表明土壤多酚氧化酶、过氧化物酶以及脲酶对土壤碳氮代谢起着重要作用。

研究发现, 有机无机肥配施显著提高烤烟干物质、氮积累量及表观生产率^[22], 本研究中, 菜籽饼肥氮替代30%化肥氮处理烤烟各部位干物质积累量、氮含量、氮积累量及氮素利用率显著高于其他处理, 表明菜籽饼肥氮替代30%化肥氮处理可保证烤烟整个生育期的养分供应。但纯菜籽饼肥处理中菜籽饼肥所含的有机物质未被彻底分解成烤烟能直接吸收的大量元素, 进而限制了其生长。纯化肥处理中的养分可被烤烟直接吸收, 但却存在烤烟生育后期养分供应不足的问题。

4 结 论

菜籽饼肥氮替代 30%化肥氮处理显著提高了土壤养分含量,土壤脲酶活性及烤烟植株对氮素的吸收利用,显著降低土壤 pH 以及土壤多酚氧化酶和过氧化物酶活性。同时土壤多酚氧化酶和过氧化物酶活性与土壤速效氮含量呈显著正相关。可见,菜籽饼肥氮替代 30%化肥氮处理是提高四川植烟土壤肥力和烤烟氮素利用率的适宜施肥方式。

参考文献

- [1] 农传江,汤利,徐智,等. 有机肥部分替代化肥对土壤有机碳库和烤烟经济性状的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2016(4): 70-75.
NONG C J, LUO J Z, XU Z, et al. Effects of organic fertilizer partial substituted for chemical fertilizer on soil[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2016(4): 70-75.
- [2] 陈油鸿,裴洲洋,朱启法. 有机肥氮替代部分化肥氮对烤烟生长发育及产质量的影响[J]. 安徽农学通报, 2017, 23(20): 38-39, 42.
CHEN Y H, PEI Z X, ZHU Q F. Effect of organic fertilizer nitrogen replacing partial chemical fertilizer nitrogen on growth, yield and quality of flue-cured tobacco[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin. 2017, 23(20): 38-39, 42.
- [3] 黄崇峻,王政,张晓龙,等. 不同形态有机肥等氮替代无机肥对烤烟生长发育及产质量的影响[J]. 河南农业科学, 2017, 46(5): 51-55.
HUANG C J, WANG Z, ZHANG X L, et al. Effect of different organic fertilizer replacing inorganic fertilizer on growth, yield and quality of flue-cured tobacco[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2017, 46(5): 51-55.
- [4] LU Q, XIONG Y, XU L J, et al. Effect of different fertilization patterns on carbon and nitrogen components of tobacco topsoil[J]. Soil and Fertilizer, 2014, 15(7): 1156.
- [5] 赵晓会. 不同培肥及改良措施对烟田土壤性质及烟草品质影响的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2011: 72.
ZHAO X H. Effect of different fertilizations and improvement methods on soil property and quality of tobacco[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2011: 72.
- [6] 王梦雅,符云鹏,贾辉,等. 不同菌肥对土壤养分、酶活性和微生物功能多样性的影响[J]. 中国烟草科学, 2018, 39(1): 57-63.
WANG M Y, FU Y P, JIA H, et al. Influence of different microbial agents on nutrients and enzyme activities of soil and functional diversity of microbial communities[J]. Chinese Tobacco Science, 2018, 39(1): 57-63.
- [7] 杨美林,林博雅,钟增庆,等. 不同饼肥施用方法对云烟 87 产质量的影响[J]. 农技服务, 2017, 34(19): 4-6.
YANG M L, LIN B Y, ZHONG Z Q, et al. Effects of different cake fertilizer application methods on the quality of yunyan 87[J]. Agricultural Extension Service, 2017, 34(19): 4-6.
- [8] 朱经伟,彭友,李志宏,等. 配施菜籽饼对贵州省烟叶氮素和烟碱累积的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2016(2): 120-125.
ZHU J W, PENG Y, LI Z H, et al. Effects of co-application of rapeseed cake and inorganic fertilizer on nitrogen and nicotine accumulation of tobacco leaves in Guizhou province[J]. Soils and Fertilizers Sciences in China, 2016(2): 120-125.
- [9] 苏涛,司美茹,王朝辉,等. 土壤矿质氮分析方法的影响因素研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(6): 1238-1242.
SU T, SI M R, WANG Z H, et al. Effects of pretreatment, shaking and conserving method and extracting solution on results for soil mineral nitrogen[J]. Journal of Agro-environment Science, 2005, 24(6): 1238-1242.
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业出版社, 1999.
LU R K. Analytical methods for soil and agro-chemistry[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1999.
- [11] 陈安强,付斌,鲁耀,等. 有机物料输入稻田提高土壤微生物碳氮及可溶性有机碳氮[J]. 农业工程学报, 2015, 31(21): 160-167.
CHEN A Q, FU B, LU Y, et al. Exogenous organic materials applied to paddy field improving soil microbial biomass C, N and dissolved organic C, N[J]. Transactions of the Chinese society of Agricultural Engineering, 2015, 31(21): 160-167.
- [12] 阎欣,刘任涛,安慧. 土壤易氧化有机碳与溶解性有机碳对荒漠草地沙漠化过程中土壤碳库变异的表征[J]. 草业学报, 2018, 27(11): 15-25.
YAN X, LIU X T, AN H. Characterization of readily oxidizable carbon and dissolved organic carbon within the soil carbon pool during desertification of grassland in central China[J]. Journal of Grass Industry, 2018, 27(11): 15-25.
- [13] 贺美,王立刚,朱平,等. 长期定位施肥下黑土碳排放特征及其碳库组分与酶活性变化[J]. 生态学报, 2017, 37(19): 6379-6389.
HE M, WANG L G, ZHU P, et al. Carbon emission characteristics, carbon library components, and enzyme activity under long-term fertilization conditions of black

- soil[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(19): 6379-6389.
- [14] 陈洁,梁国庆,周卫,等. 长期施用有机肥对稻麦轮作体系土壤有机碳氮组分的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2019, 25(1): 36-44.
- CHEN J, LIANG G Q, ZHOU W, et al. Responses of soil organic carbon and nitrogen fractions to long-term organic fertilization under rice-wheat rotation[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2019, 25(1): 36-44.
- [15] 郭素春,郁红艳,朱雪竹,等. 长期施肥对潮土团聚体有机碳分子结构的影响[J]. *土壤学报*, 2013, 50(5): 922-930.
- GUO S C, YU H Y, ZHU X Z, et al. Effect of long-term fertilization on molecular structure of organic carbon in soil aggregates in fluvo-aquic soil[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50(5): 922-930.
- [16] 张玉平,荣湘民,刘强,等. 有机无机肥配施对旱地作物养分利用率及氮磷流失的影响[J]. *水土保持学报*, 2013, 27(3): 44-48, 54.
- ZHANG Y P, RONG X M, LIU Q, et al. Effects of combination of organic and inorganic fertilizer on crop nutrient utilization rate, nitrogen and phosphorus loss in dry land[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2013, 27(3): 44-48, 54.
- [17] 高菊生,黄晶,董春华,等. 长期有机无机肥配施对水稻产量及土壤有效养分影响[J]. *土壤学报*, 2014, 51(2): 314-324.
- GAO J S, HUANG J, DONG C H, et al. Effects of long-term combined application of organic and chemical fertilizers on rice yield and soil available nutrients[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2014, 51(2): 314-324.
- [18] 张弘. 相同碳氮比有机物料和生物炭对烤烟品质及土壤碳氮代谢的影响[D]. 郑州:河南农业大学, 2017.
- ZHANG H. Effects of the same C/N ratio organic material and biochar on flue-cured tobacco quality and soil carbon nitrogen metabolism[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2017.
- [19] JASTROW J D, AMONETTE J E, BAILEY V L. Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration[J]. *Climatic Change*, 2007, 80(1/2): 5-23.
- [20] 张弘,刘世亮,朱金峰,等. 相同碳氮比有机物料对烤烟生长发育及碳氮代谢的影响[J]. *中国水土保持科学*, 2016, 14(5): 110-118.
- ZHANG H, LIU S L, ZHU J F, et al. Effects of organic material with the same ratio of carbon to nitrogen on the growth and carbon nitrogen metabolism of flue-cured tobacco[J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2016, 14(5): 110-118.
- [21] 张恩平,谭福雷,王月,等. 氮磷钾与有机肥配施对番茄产量品质及土壤酶活性的影响[J]. *园艺学报*, 2015, 42(10): 2059-2067.
- ZHANG E P, TAN F L, WANG Y, et al. Effects of NPK fertilizers and organic manure on nutritional quality, yield of tomato and soil enzyme activities[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2015, 42(10): 2059-2067.
- [22] 朱英华,田维强,苟剑渝,等. 有机无机复混肥对水稻土烤烟养分积累、分配与利用的影响[J]. *中国烟草科学*, 2019, 40(2): 30-37.
- ZHU Y H, TIAN W Q, GOU J Y, et al. Effects of organic-inorganic compound fertilizers on nutrient accumulation, distribution, and utilization ratio of flue-cured tobacco in paddy soil[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2019, 40(2): 30-37.