

不同饼肥配比对烟田土壤生物学特性及氮素转化的影响^①

李亮¹, 张佩佳², 张翔^{1*}, 毛家伟¹, 司贤宗¹, 索炎炎¹, 余琼¹, 李琦³, 范艺宽³

(1 河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所, 郑州 450002; 2 英国谢菲尔德大学信息学院, 英国谢菲尔德 S10 2TN;

3 河南省烟草专卖局(公司), 郑州 450000)

摘要:施用芝麻饼肥是河南烟叶提质增效的一大特色, 纯芝麻饼肥因量少价高在生产上的使用受到限制, 而菜籽饼肥资源丰富且价格低廉, 本研究拟通过比较不同菜籽和芝麻饼肥配比对土壤微生物区系、微生物生物量、酶活性及氮素转化的影响, 明确能培肥烟田土壤及提升烟叶质量的合理饼肥配比, 实现菜籽和芝麻饼肥资源的优化配置。结果表明: 较其他处理, 芝麻饼肥配比高的 T5(化肥 + 30% 菜籽饼肥 + 70% 芝麻饼肥)和 T6(化肥 + 100% 芝麻饼肥)处理在烤烟团棵期、旺长期和现蕾期土壤有较好的微生物增殖, 但菜籽饼肥配比高的 T2(化肥 + 100% 菜籽饼肥)和 T3(化肥 + 70% 菜籽饼肥 + 30% 芝麻饼肥)处理在烤烟成熟期土壤微生物数量多于其他处理。各处理微生物生物量碳均在烤烟现蕾期出现峰值, 微生物生物量氮和磷在团棵期有峰值。除过氧化氢酶外, 脲酶、蛋白酶、磷酸酶及蔗糖酶活性在烤烟旺长期有峰值且 T5 和 T6 处理高于其他处理。腐熟芝麻饼肥配比高的 T5 和 T6 处理更符合优质烤烟生产的氮素营养特性, 且两者间无显著差异。菜籽饼肥配比高的 T2 和 T3 处理氮素矿化速度慢, 不利于烟叶后期的品质建成。因此, 推荐以 30% 菜籽饼肥 + 70% 芝麻饼肥来替代 100% 芝麻饼肥处理, 这样既可节约成本, 又能有效改善烟田土壤生物学特性, 平衡烤烟氮素营养, 提升烟叶品质。

关键词: 饼肥; 烟田; 土壤微生物; 微生物生物量; 酶活性

中图分类号: S141.5 **文献标识码:** A

河南烟叶“吃味醇和、香气浓郁、劲头适中、油润丰满、燃烧性强”, 曾是我国浓香型烟叶的典型代表。但近些年来, 由于烟区人均耕地较少, 烟田复种指数较高, 长期大量施用化肥忽视有机肥, 对烟田土壤重“用”轻“养”, 势必造成烟田土壤板结、有机质含量下降、微量元素缺乏、有益微生物区系发生变化, 致使病菌群增多、烟株生长发育不良、化学成分不协调、烟叶香气品质下降, 不能满足卷烟工业的需求, 成为烟叶产量和品质提高的重要限制因素。

施用饼肥是我国烟草栽培史上一大特色。饼肥是油料种子榨油后剩下的残渣, 我国菜籽饼、花生饼、大豆饼等饼肥资源丰富。饼肥作为一种有机物料, 以含氮(N)为主, 并含有相当数量的磷(P)、钾(K)及钙(Ca)、镁(Mg)等中量元素和铁(Fe)、锰(Mn)、锌(Zn)等微量元素。长期研究表明, 合理施用饼肥可增加土壤中各种养分含量, 同时还能调节土壤微生物活性,

促进烤烟生长发育, 有利于碳、氮代谢的协调, 增加烟叶的香气吃味, 效果优于其他普通有机肥^[1-2]。有报道指出, 以 50% 的饼肥氮和 50% 的化肥氮配施效果最佳^[3]; 也有研究表明, 以 20% 的饼肥氮配施 80% 的无机肥氮对烤烟的生长发育有良好的促进作用。河南烟区烟叶生产表明, 25% 的腐熟芝麻饼氮配施 75% 的无机肥氮可改良烟田土壤环境, 有助于提高河南烟区烟草的产量和品质, 改善烟叶的等级结构。

尽管芝麻饼在提高烟叶品质方面具有十分独特的作用, 但我国芝麻种植面积较小, 芝麻饼作为有机肥成本较高。油菜籽作为世界第三大油料作物, 在我国的种植面积居世界首位, 因菜籽饼资源丰富, 获取成本也较低。但目前还缺乏有关不同饼肥配比对烟草生产上的效果研究, 因此, 本研究通过田间小区试验, 研究了菜籽饼和芝麻饼不同饼肥配比对土壤生物学

基金项目: 河南省烟草专卖局科技项目(HYKJZD201503)、河南省烟草业转型升级科技攻关项目(2018410000270036)和中国烟草总公司科技项目(110201502013)资助。

* 通讯作者(zxtf203@163.com)

作者简介: 李亮(1982—), 女, 甘肃通渭人, 博士, 助理研究员, 主要从事烟草施肥研究。E-mail: joyce121@163.com

特性及氮素转化的影响,探讨烟草生产上如何以菜籽饼代替芝麻饼施用,为改良河南烟区土壤质量、提高烟叶品质、降低饼肥施用成本及科学合理施用饼肥提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试烤烟品种为当地主栽品种中烟 100,由临颍县烟草公司提供。试验于 2016 年 5 月至 10 月在河南省漯河市临颍县固厢镇大师村开展。供试土壤类型为潮土,质地为砂壤土,前茬作物为烟草。在未施肥起垄前,采用 5 点 4 分法取 0~20 cm 耕层土壤样品测定其基本理化性质:pH 7.8,有机质 12.0 g/kg,碱解氮 114.3 mg/kg,有效磷 8.7 mg/kg,速效钾 134.8 mg/kg。供试肥料为一铵(含 N 110 g/kg, P₂O₅ 440 g/kg)、硝铵磷(含 N 320 g/kg, P₂O₅ 40 g/kg)、硫酸钾(含 K₂O 500 g/kg)、腐熟菜籽饼肥(含 N 51 g/kg, P₂O₅ 8.9 g/kg, K₂O 9.1 g/kg)和腐熟芝麻饼肥(含 N 54 g/kg, P₂O₅ 10.4 g/kg, K₂O 10.0 g/kg)。

1.2 试验设计

试验设 6 个不同饼肥配比处理:T1,对照(不施用菜籽饼和芝麻饼);T2,化肥+100%菜籽饼肥;T3,化肥+70%菜籽饼肥+30%芝麻饼肥;T4,化肥+50%菜籽饼肥+50%芝麻饼肥;T5,化肥+30%菜籽饼肥+70%芝麻饼肥;T6,化肥+100%芝麻饼肥。每个处理施纯氮(N)量为 80.00 kg/hm²,其中,无机氮占 75%,有机氮占 25%。采用当地腐熟菜籽饼和芝麻饼配制不同比例有机肥,各处理及肥料施用量如表 1 所示。饼肥全部作基肥条施,无机氮肥采用 70%条施、30%穴施。所有处理的 P₂O₅ 施用量为 101.25 kg/hm²,全部作基肥施入;K₂O 施用量为 236.25 kg/hm²,采用 50%条施、20%穴施、30%追施。

试验采用随机区组设计,每个小区面积 72 m² (4.8 m×15 m),每小区种植 4 行,行株距为 120 cm×50 cm,每个处理 3 次重复,共 18 个小区。试验于 5 月 5 日选取长势健壮、大小均匀一致的烟苗进行移栽,其他栽培及田间管理措施按当地优质烟叶生产管理规范进行。

1.3 取样及测定

于烤烟生长的 4 个生育期(团棵期,移栽后 30 d;旺长期,移栽后 45 d;现蕾期,移栽后 60 d;成熟期,移栽后 90 d),采集不同处理烟垄上 2 株烟正中位置 0~20 cm 土层 3 个重复的土壤样品,所有样品均为

多点混合样品,用四分法留存 1 kg 装入无菌自封袋带回实验室,一份鲜样去杂后存于 4℃ 冰箱保存供测土壤微生物区系和微生物生物量碳、氮、磷,另一份风干、去杂、细化(孔径 1 mm 筛)供土壤酶活和土壤全氮及碱解氮的测定。同时,每个生育期随机选取 3 株植株样,分根、茎、叶取样并冲洗干净,放入烘箱 105℃ 杀青 30 min,在 70℃ 下烘干,粉碎后测根、茎、叶中氮含量。

表 1 试验处理
Table 1 Experiment treatments

处 理	菜籽饼肥(含 N 51 g/kg)		芝麻饼肥(含 N 54 g/kg)		化肥氮 (kg/hm ²)
	纯氮量 (kg/hm ²)	菜籽饼肥用 量(kg/hm ²)	纯氮量 (kg/hm ²)	菜籽饼肥用 量(kg/hm ²)	
T1	0.00	0.00	0.00	0.00	60
T2	20.00	392.16	0.00	0.00	60
T3	14.00	274.51	6.00	111.11	60
T4	10.00	196.08	10.00	185.19	60
T5	6.00	117.65	14.00	259.26	60
T6	0.00	0.00	20.00	370.37	60

土壤微生物区系采用稀释平板分离测数法测定^[4],微生物生物量采用氯仿熏蒸法测定^[5];脲酶活性采用苯酚钠-次氯酸钠比色法测定,蛋白酶活性采用茚三酮比色法测定,磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定,蔗糖酶活性采用水杨酸比色法测定,过氧化氢酶活性采用 KMnO₄ 滴定法测定^[6];土壤全氮和碱解氮含量参照鲍士旦^[7]方法测定;植株根、茎、叶氮含量采用凯氏定氮法测定^[7];烤后烟叶总糖采用蒽酮比色法测定,还原糖采用 DNS 比色法测定,烟碱采用提取脱色法测定,总氮采用凯氏定氮法测定,钾采用火焰光度法测定,氯采用莫尔法测定^[8]。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2013 软件进行数据处理,Origin 8.0 软件作图,SPSS 17.0 软件进行方差分析(Duncan 法)。

2 结果与分析

2.1 不同饼肥对比对烟田土壤生物学特性的影响

2.1.1 土壤微生物区系 土壤微生物是土壤的重要组成部分,是土壤碳、氮、磷等元素转化的主要驱动力,对土壤-植物生态系统的物质循环和能量流通起决定性作用^[9]。如图 1A~C 所示,烟田土壤中微生物数量呈细菌>放线菌>真菌的规律,饼肥处理微生物数量均显著高于同期对照,表明施用饼肥对改善土壤质量具有正效应。

细菌是土壤微生物的主体,直接参与土壤中含氮有机化合物的氨化作用,把植物不能同化的、复杂的含氮有机物变为可被植物直接利用的形态。如图 1A 所示,各处理细菌数量均在烤烟旺长期增加到峰值,之后又逐渐降低。T5 和 T6 处理在前 3 个生育期的细菌数量最多,且与其他处理间存在显著性差异。成熟期,芝麻饼肥配比高的 T5 和 T6 处理细菌数量反而低于菜籽饼肥配比高的 T2 和 T3 处理。

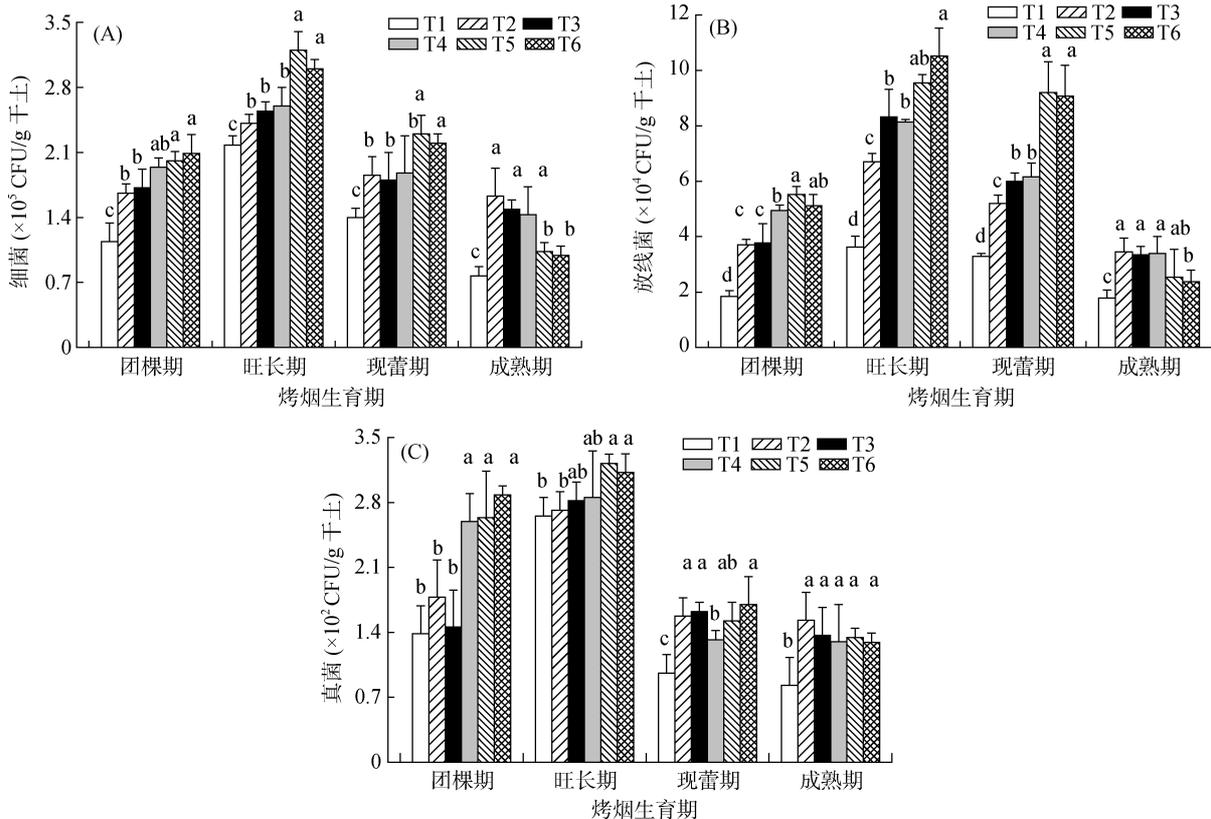
放线菌能分解氨基酸等蛋白质,在促进物质循环、促进土壤形成团粒结构及改良土壤中起重要作用。如图 1B 所示,放线菌数量的变化规律与土壤细菌的变化规律类似,除成熟期外,其余生长期均是芝麻饼肥配比高的 T5 和 T6 处理放线菌数量居多,但二者间无显著差异。生育期内 T2、T3、T4、T5 和 T6 处理放线菌数量较对照分别提高了 58.05% ~ 100.46%、82.37% ~ 129.79%、87.35% ~ 166.81%、42.91% ~ 198.37% 和 33.82% ~ 190.78%。

真菌能分解纤维素、木质素、果胶及蛋白质,特别是真菌菌丝体的积累因链条效应可明显改良土壤团粒结构,进而改善土壤质量状况。如图 1C 所示,烤烟团棵期,芝麻饼肥配比高的 T5 和 T6 处理真菌

数量显著高于菜籽饼肥配比高的 T2 和 T3 处理,但在成熟期,前者与后者无显著差异。生育期内 T2、T3、T4、T5 和 T6 处理真菌数量较对照的提高幅度分别为 2.47% ~ 84.44%、6.37% ~ 69.30%、7.77% ~ 88.11%、21.55% ~ 91.09% 和 17.89% ~ 108.64%。

2.1.2 土壤微生物生物量碳、氮、磷 土壤微生物生物量虽在土壤中的含量极少,但它是土壤养分储存库和植物生长可利用养分的重要来源^[10]。土壤微生物生物量碳仅占土壤有机碳的 1.3% ~ 6.4%,但它是土壤有机质中的活性部分,很大程度上反映土壤有效养分状况和生物活性^[11-12]。表 2 表明,各处理微生物生物量碳动态变化有相似规律性,均在烤烟现蕾期出现峰值,且 T2、T3、T4、T5 和 T6 处理分别比对照增加了 44.11%、19.26%、41.85%、75.91% 和 78.89%。从饼肥施用效果来看,T5 和 T6 处理土壤微生物生物量碳均高于同期其他处理,与对照相比,提高幅度分别为 45.26% ~ 130.00% 和 35.54% ~ 147.12%,且 T5 和 T6 处理间无显著性差异。

微生物生物量氮指活微生物体内所含的氮,由于微生物生物量氮的周转率比土壤有机氮快 5 倍多,所以大部分矿化氮来自于土壤微生物生物量氮,是土壤



(图中不同小写字母表示同一生育期不同处理间差异显著($P < 0.05$), 下同)

图 1 不同处理对土壤微生物数量的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on microbial quantities in soil

表 2 不同处理对烟田土壤微生物生物量的影响(mg/kg)
Table 2 Effects of different treatments on microbial biomass in soil

微生物生物量	生育期	T1	T2	T3	T4	T5	T6
微生物生物量碳	团棵期	206.72 c	240.97 c	247.68 c	371.52 b	464.40 ab	510.84 a
	旺长期	245.10 b	245.80 b	278.64 b	247.68 b	356.04 a	332.20 a
	现蕾期	311.52 b	448.92 ab	371.52 b	441.90 ab	548.00 a	557.28 a
	成熟期	154.80 b	247.68 ab	185.76 b	309.60 a	356.04 a	371.52 a
微生物生物量氮	团棵期	10.37d	18.32 cd	22.31 c	37.20 b	43.79 ab	50.67 a
	旺长期	8.70b	12.59 b	11.40 b	14.64 b	21.36 a	20.45 a
	现蕾期	9.48c	18.21 c	15.31 c	25.83 b	39.52 a	34.66 ab
	成熟期	7.10 b	11.20 a	13.39 a	13.23 a	13.88 a	10.61 ab
微生物生物量磷	团棵期	14.73 b	21.00 a	19.73 a	22.91 a	24.28 a	23.28 a
	旺长期	10.20 b	17.18 a	14.00 ab	16.55 a	19.10 a	20.20 a
	现蕾期	9.73 b	14.32 a	12.73 a	15.64 a	16.46 a	18.09 a
	成熟期	7.55 a	10.82 a	13.37 a	12.18 a	14.00 a	13.55 a

注：表中同行不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)，表 3 同。

氮素的重要储备库，其在土壤氮素循环与转化中起重要的调节作用^[13-14]。施用饼肥处理微生物生物量氮明显高于对照，均在团棵期有峰值，且 T2、T3、T4、T5 和 T6 处理分别比对照增加了 76.66%、115.10%、258.75%、322.29% 和 388.59%。

微生物生物量磷既是土壤磷素最为活跃的部分，也是土壤有效磷的“源”和“库”^[15]。与对照相比，T2、T3、T4、T5 和 T6 处理微生物生物量磷提高幅度分别为 42.57% ~ 68.43%、30.83% ~ 77.09%、55.53% ~ 62.25%、64.83% ~ 87.25% 和 58.04% ~ 98.04%。饼肥处理在烤烟团棵期微生物生物量磷最高。饼肥施用提供了可被微生物利用的碳、氮、磷等养分，使微生物在短时间内增殖，促进微生物对磷的吸收利用，团棵期烟株对磷的需求较小，更多的磷固持在微生物体内以免流失。

2.1.3 土壤酶活性 土壤酶促作用直接影响着土壤有机物质的转化、合成及植物的生长发育，其活性的高低能反映土壤养分转化能力的强弱，是表征土壤生物学肥力质量变化的潜在指标^[16-17]。脲酶与土壤中氮循环密切相关，在一定程度上反映了土壤的供氮水平。表 3 表明，各处理脲酶活性呈先增加后下降的趋势，均在烤烟旺长期达到峰值，且 T2、T3、T4、T5 和 T6 处理分别比对照处理增加了 60.80%、48.48%、63.64%、195.45% 和 206.06%。团棵期到现蕾期，脲酶活性均随着芝麻饼比例的增加呈增加趋势，T5 和 T6 处理在同一生育期差异不显著；成熟期，芝麻饼比例高的 T5 和 T6 处理却低于菜籽饼比例高的 T2 和 T3 处理。脲酶活性在生长前期高，有利于氮代谢，以便供给烤烟所需的氮素；后期活性降低，有利于烤烟

氮代谢向碳代谢转变，为生产优质烟叶奠定基础^[18]。

蛋白酶与土壤有机质、氮素有关，在一定程度上反映了土壤氮素养分状况^[18]。烤烟旺长期土壤蛋白酶活性明显提高，且 T2、T3、T4、T5 和 T6 分别比对照处理增加了 43.77%、27.01%、42.88%、88.89% 和 100.01%，之后随着烟株生长，蛋白酶活性逐渐降低。不同饼肥配比处理蛋白酶活性均高于对照，除了成熟期各处理间没有达到显著性差异，其他生育期均是 T5 和 T6 处理明显高于其他处理，表明芝麻饼配比越高越有利于生长前期蛋白酶活性的提高，原因可能是芝麻饼带入了大量微生物和含氮有机化合物。

磷酸酶活性的高低直接影响土壤有机磷分解转化及其生物有效性，表征土壤的磷素营养状况。不同处理磷酸酶活性在烟株生育期的动态变化大致相同，即在旺长期时磷酸酶活性最强，随后磷酸酶活性逐渐降低，可能是旺长期需要消耗大量磷素来满足烟株的生长需要，后期需磷量减少，磷酸酶活性降低。与对照相比，T2、T3、T4、T5 和 T6 处理提高幅度分别为 10.46% ~ 132.64%、9.00% ~ 172.45%、11.18% ~ 171.00%、38.46% ~ 210.06% 和 66.05% ~ 209.88%。

蔗糖酶主要参与高分子有机物的分解，水解蔗糖生成葡萄糖和果糖以补充碳源和能量，可反映土壤熟化程度和肥力水平^[19]。各处理蔗糖酶活性均在烤烟旺长期出现峰值，T2、T3、T4、T5 和 T6 处理分别比对照处理增加了 35.94%、30.96%、34.29%、42.59% 和 37.85%，表明此时随着饼肥的分解和养分的积累，土壤的熟化程度及肥力水平逐渐提高，有利于土壤中碳的转化和烟株对养分的吸收。前 3 个生育期 T5 和 T6 处理蔗糖酶活性高于其他处理，成熟期 T2、T3

和 T4 处理大于其他处理。

过氧化氢酶可以促进过氧化氢的分解,从而减轻或解除过氧化氢对生物体的毒害作用,土壤过氧化氢酶活性与土壤有机质含量和微生物数量均有

关^[18]。在整个生育期,过氧化氢酶活性的变化幅度较小,且同一生育期不同处理间过氧化氢酶活性差异均不显著,表明过氧化氢酶对饼肥的施入效应不明显。

表 3 不同处理对烟田土壤酶活性的影响
Table 3 Effects of different treatments on enzyme activities in soil

土壤酶活性	生育期	T1	T2	T3	T4	T5	T6
脲酶(mg/(g·d))	团棵期	0.46 b	0.93 a	0.94 a	1.00 a	1.29 a	1.42a
	旺长期	0.66c	1.06 b	0.98 b	1.08 b	1.95 a	2.02 a
	现蕾期	0.41b	0.71 a	0.83 a	0.88 a	0.94 a	1.01 a
	成熟期	0.44a	0.66 a	0.76 a	0.59 a	0.45a	0.47a
蛋白酶(mg/(g·d))	团棵期	0.67 c	1.08 b	1.01 b	0.97 b	1.29 a	1.37 a
	旺长期	0.81c	1.16 b	1.03 b	1.16 b	1.53 a	1.62 a
	现蕾期	0.66b	0.95 a	0.86a	0.95a	1.02 a	1.08 a
	成熟期	0.59a	0.81 a	0.72 a	0.68 a	0.63 a	0.61 a
磷酸酶(mg/(g·d))	团棵期	30.32 c	67.22 ab	59.63 b	70.75 ab	83.50 a	69.24 ab
	旺长期	70.00 b	77.32 b	76.30 b	77.83 b	96.93 a	116.20 a
	现蕾期	24.30 b	56.53 a	66.20 a	61.66 a	66.71 a	75.30 a
	成熟期	20.70 c	37.90 b	50.03 ab	56.10 ab	64.18 a	60.40 a
蔗糖酶(mg/(g·d))	团棵期	2.06 c	2.92 b	2.91 b	3.05 b	3.46 a	3.29 ab
	旺长期	2.80 b	3.81 a	3.67 a	3.76 a	3.99 a	3.86 a
	现蕾期	2.15 b	2.95 a	2.98 a	3.02 a	3.12 a	3.26 a
	成熟期	2.01b	2.89 a	2.67 a	2.78 a	2.06 b	2.23 b
过氧化氢酶(ml/(g·30min))	团棵期	3.45 a	3.58 a	3.62 a	3.68 a	3.70 a	3.73 a
	旺长期	3.22 a	3.51 a	3.43 a	3.31 a	3.43 a	3.33 a
	现蕾期	3.29 a	3.55 a	3.70 a	3.53 a	3.66 a	3.62 a
	成熟期	3.38 a	3.65 a	3.61 a	3.63 a	3.71 a	3.69 a

2.2 不同饼肥比对烟田土壤氮素含量的影响

土壤氮是烤烟氮素营养的主要来源,施用饼肥带入的有机氮对烟田土壤氮素状况产生重要影响^[2,20]。饼肥在土壤中的矿化、氮素的释放快慢及释放量直接影响烟叶氮素的营养及品质。图 2A 显示,与不施饼肥相比,施用菜籽饼和芝麻饼均能显著提高土壤全氮,各处理土壤全氮含量随生育期呈降低趋势。T5 和 T6 处理土壤全氮含量在团棵期、旺长期、现蕾期时明显高于 T2、T3 和 T4 处理,但在成熟期,二者土壤全氮含量又显著低于 T2、T3 和 T4 处理,且在相同生育期内 T5 和 T6 处理无显著差异。图 2B 显示,各处理碱解氮含量与土壤全氮含量有相同的变化趋势,T5 和 T6 处理土壤碱解氮含量在前 3 个生育期相对较高,而成熟期时二者又显著低于 T2、T3 和 T4 处理,且与对照处理无显著差异。可能在成熟期,芝麻饼配比高的处理土壤微生物数量比菜籽饼配比高的处理低,降低了氨化、硝化细菌的数量,导致土壤碱解氮含量较菜籽饼配比高的处理低,致使烤烟成熟期氮素的枯竭,从而减少烟叶氮素的含量,促进

烤烟正常的成熟落黄^[2]。

2.3 不同饼肥比对烤烟根、茎、叶氮素含量的影响

由图 3A 可知,旺长期到成熟期,各处理烤烟根中氮含量呈下降趋势,且各处理根中氮含量在 4 个生育期的变幅较小,对照处理根中氮含量显著低于同期其他处理,其余处理根中氮含量在同期无显著性差异。由图 3B 可知,T5 和 T6 处理烤烟茎中氮含量在团棵期、旺长期时显著高于同期其他处理,但两者间无显著性差异;两者在成熟期时,茎中氮含量较现蕾期显著降低,且低于同期 T2、T3 和 T4 处理,T2、T3 和 T4 处理茎中氮含量在 4 个生育期均无显著差异。由图 3C 可知,各处理烟叶氮含量逐渐降低,该趋势从团棵期持续到烤烟成熟期。T5 和 T6 处理在成熟期显著低于 T2、T3 和 T4 处理,但与对照处理差异不显著,表明施用腐熟芝麻饼配比高的 T5 和 T6 处理能够满足烤烟生育前、中期对氮素的需求,在生育后期氮素逐渐枯竭,促进了烤

烟的成熟落黄，与优质烟叶“少时富，老来贫”的氮素需求规律相吻合^[21]。菜籽饼配比高的 T2 和 T3 处理可能因菜籽饼氮素矿化速度慢，在烤烟生育后期氮素不能有效衰竭，导致烟叶贪青晚熟，不能正常落黄。

2.4 不同饼肥对比对烤后烟叶化学成分的影响

优质烟叶总糖质量分数为 18% ~ 22%，还原糖 16% ~ 18%，烟碱 2.4% ~ 2.6%，总氮 1.9% ~ 2.1%，

钾 2% 以上，氯 1% 以下，糖碱比 6 ~ 10，氮碱比 0.8 ~ 1.0，钾氯比 ≥ 8.0 ，还原糖与总糖的比值应 0.9^[22]。从表 4 看出，芝麻饼肥配比高的 T5 和 T6 处理比菜籽饼肥配比高的 T2 和 T3 处理烤后中部烟叶内在化学品质更协调。T5 和 T6 处理中部烟叶的总糖、还原糖、氯的质量分数及糖碱比、氮碱比和两糖比均在适宜范围内，且烟碱、总氮质量分数显著低于其他处理，钾质量分数高于其他处理。

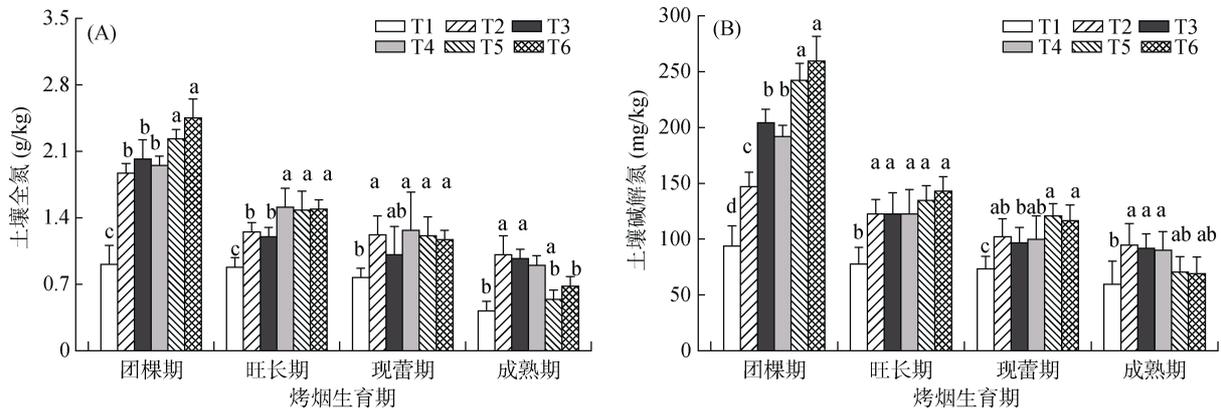


图 2 不同处理对土壤全氮(A)和碱解氮含量(B)的影响
Fig. 2 Effects of different treatments on contents of total N (A) and alkaline N (B) in soil

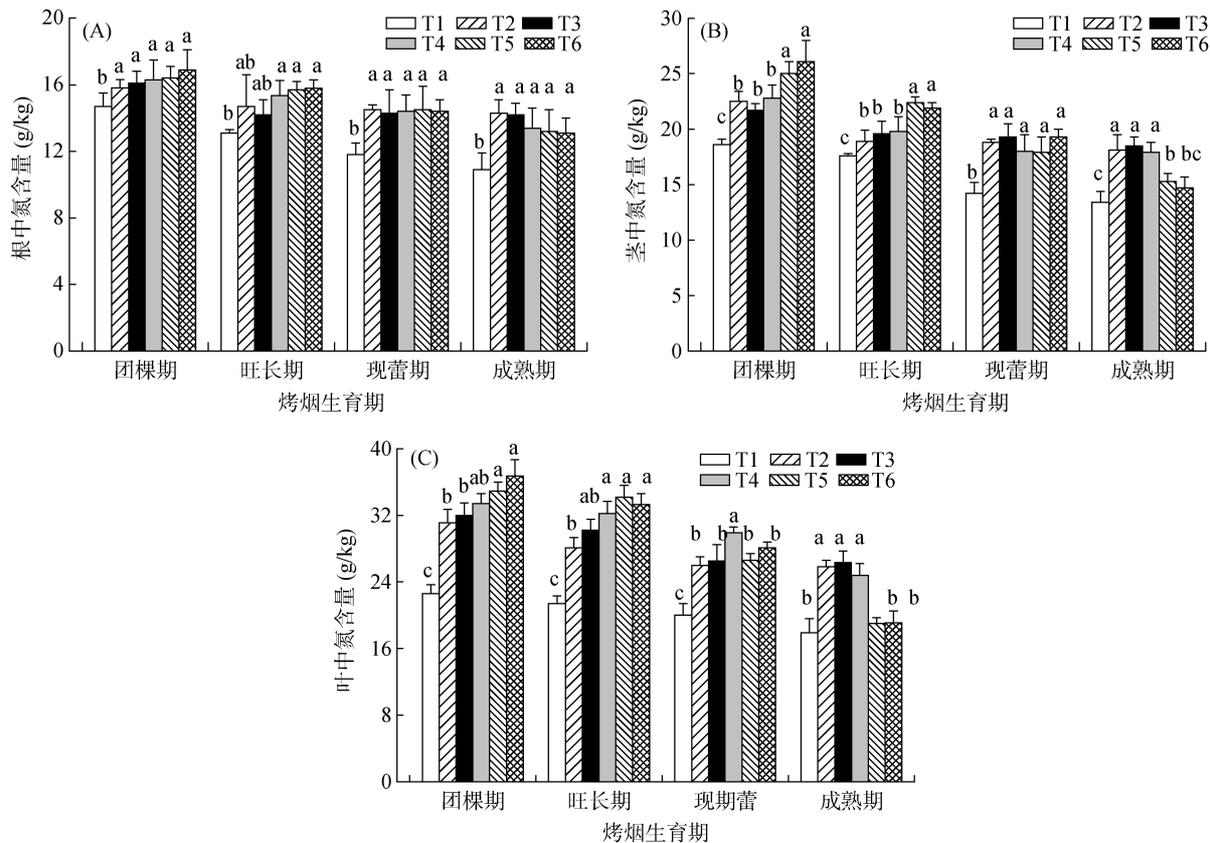


图 3 不同处理对烤烟根(A)、茎(B)、叶(C)中氮含量的影响
Fig. 3 Effects of different treatments on N concentrations in roots (A), stems(B) and leaves (C) of flue-cured tobacco

表 4 不同处理对烤后中部烟叶化学成分的影响
Table 4 Effects of different treatments on chemical components of middle leaves of flue-cured tobacco

处理	总糖(%)	还原糖(%)	烟碱(%)	总氮(%)	钾(%)	氯(%)	糖碱比	氮碱比	钾氯比	两糖比
T1	13.40 c	10.62 c	2.94 b	2.28 b	1.31 c	0.42 a	3.61 d	0.78 ab	3.12 d	0.79 b
T2	16.25 b	14.60 b	3.53 a	2.92 a	1.48 b	0.32 b	4.14 cd	0.83 a	4.63 c	0.90 a
T3	18.21 ab	16.40 a	3.44 a	2.54 ab	1.56 b	0.36 ab	4.77 c	0.74b	4.33 c	0.90 a
T4	19.20 a	16.63a	2.91 b	2.13 b	1.94 a	0.30 b	5.71 b	0.73b	6.47 a	0.87 ab
T5	19.73 a	17.78 a	2.26 c	1.91 c	2.04 a	0.37 ab	7.87 a	0.85 a	5.51 b	0.90 a
T6	20.00 a	17.97 a	2.31 c	2.02c	2.08 a	0.35 b	7.78 a	0.87 a	5.94 ab	0.90 a

注：表中同列不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)，表 5 同。

2.5 不同饼肥对比对烤烟经济性状的影响

如表 5 所示，T2、T3、T4、T5、T6 处理烤烟的产量、产值、均价、上中等烟率均显著高于 T1 对照，其中，以 T5 和 T6 处理的提高幅度最大，且两处理间差异不显著，表明芝麻饼配比高的 T5 和 T6 处理

更有利于烤烟产量和产值的提高，对烤烟的经济效益有积极的促进作用。菜籽饼肥配比高的 T2 和 T3 处理产值、均价相对较差，这可能是烟株生长过程中，菜籽饼氮素矿化速度慢，肥效不能有效衰竭，导致烟叶贪青晚熟，不能正常落黄所致。

表 5 不同处理对烤烟经济性状的影响
Table 5 Effects of different treatments on economic characteristics of flue-cured tobacco

处理	产量(kg/hm ²)	产值(万元/hm ²)	均价(元/kg)	上中等烟率(%)
T1	2 687.96 c	4.62 c	17.19 c	77.10 c
T2	2 736.57 ab	5.38 b	19.66 b	80.81 b
T3	2 726.85 b	5.73 b	21.01 ab	78.96 bc
T4	2 715.28 b	5.57 b	20.51ab	80.21 b
T5	2 791.11 a	6.39 a	22.89 a	87.19 a
T6	2 742.96 ab	6.22 a	22.68 a	86.57 a

3 讨论

土壤是优质烟叶生产的基础，也是土壤生物的栖息场所。土壤生物学特性影响肥料的分解、转化，进而影响烟株根系对养分的吸收利用，是获得优质烟叶的重要因素^[23]。土壤微生物既是土壤有机物转化的参与者，又是植物营养元素的活性库^[17]。佘国涵等^[24]报道了，施用饼肥能提高土壤微生物数量，土壤微生物数量多，区系复杂，表明土壤微生态系统平衡，有利于烟株的健康生长。刘添毅等^[25]研究表明，烟田施用菜籽饼和花生饼后，土壤中细菌和放线菌明显增加。但饼肥施用量过多，会致使烤烟生长后期土壤中硝化细菌数量的增加，不利于优质烤烟的成熟落黄^[26]。添加菜籽饼和芝麻饼均能显著提高土壤微生物数量，一方面饼肥带入的活性有机碳源是微生物增殖的主要原因之一，另一方面，施入的饼肥也带入了大量的活体微生物，起到了“接种”作用。本研究发现，芝麻饼比例高的 T5 和 T6 处理能较好地引起微生物的增殖，使烟田土壤生物学性质得以改善，土壤肥力水平得到提高。

有研究报道，芝麻饼肥的施用可显著提高土壤微生物生物量碳和氮^[27]。本研究发现土壤微生物生物量碳在烤烟生长的现蕾期达到峰值。团棵期，较低的碳氮比加速了饼肥的分解，且饼肥为微生物的生存提供了碳源；旺长期，烟株生长对碳源需求量增大，此时，微生物生命活动旺盛也需消耗大量碳源，使微生物生物量碳减少，随着饼肥中复杂有机物的进一步分解，在现蕾期达到峰值，随后又逐渐下降。微生物生物量氮在整个生育期呈现“减小-增大-减小”的规律，且团棵期出现峰值。在团棵期，土壤无机氮含量较高，但烟株根系发育小对氮素的吸收较少，绝大部分氮被微生物固定；随着烟草的生长发育进入旺长期，烟株对氮的吸收增多，微生物活性增强，土壤氮含量逐渐降低，部分微生物氮又被释放出来，以供烤烟的生长发育所需；现蕾期，烟株的生理逐渐成熟，对氮素的需求明显减少，多余的氮素再次被微生物固定^[14]。

土壤中一切生化反应都是在酶的作用下进行的，土壤酶主要来自土壤微生物和植物根系的分泌，土壤酶活性的提高与微生物的增殖和饼肥促进烟株根系

生理代谢有关。本研究在施入菜籽和芝麻饼肥后,除过氧化氢酶外,脲酶、蛋白酶、磷酸酶及蔗糖酶活性在旺长期显著增强,究其原因,一是腐熟的饼肥本身可带入大量的酶类;二是饼肥作为一种有机物料,为土壤酶提供了作用基质;三是随着气温升高土温逐渐升高,酶活性增强;四是烟草在旺长期生长旺盛,根系活性强,烟株根系可分泌各种酶。但随着时间的推移,供酶分解基质逐渐减少和养分的积累,土壤酶活性受到抑制,这样也利于烤烟后期的落黄和烟叶品质的提高^[18]。

氮素对烤烟产量和品质的影响最大,只有适时适量的供给氮素才能保证协调的碳氮代谢,获得高品质的烟叶^[28]。虽有部分研究者认为施用饼肥肥效的滞后性易造成烟叶烟碱含量的超标^[29]。但大多研究认为,经过发酵腐熟的饼肥在烟草全生育期氮素释放量的79.67%~90.49%集中在其施入土壤后50 d内,后期氮释放量较少,这与烤烟对氮的吸收规律相一致,既不会因缺肥造成烤烟的早衰而影响烟叶品质,又利于烟叶后期的成熟落黄,故施用适量腐熟的饼肥不会导致过高的烟碱含量^[30-31]。本研究发现,腐熟芝麻饼肥配比高的T5和T6处理能够满足烤烟生育前、中期对氮素的需求,而在生长后期土壤氮素较菜籽饼肥配比高的处理反而要低,致使烤烟成熟期氮素的枯竭,从而减少烟叶氮素的含量。菜籽饼肥配比高的T2和T3处理可能因菜籽饼氮素矿化速度较慢,在烤烟生育后期氮素不能有效耗竭,会导致烟叶贪青晚熟。

4 结论

无论施用菜籽饼肥还是芝麻饼肥,土壤微生物数量、微生物生物量、酶活性均得以大大改善,尤其以化肥+30%菜籽饼肥+70%芝麻饼肥处理和化肥+100%芝麻饼肥处理更符合优质烤烟生产的氮素营养特性,两处理间差异不显著。因纯芝麻饼作为肥料成本太高,菜籽饼肥相对价格低廉,菜籽饼肥配比太高的处理氮素矿化速度慢,不利于烟叶后期的品质建成,推荐以30%菜籽饼肥+70%芝麻饼的饼肥配比来替代100%芝麻饼处理,这样既可节约成本,又能有效改善河南烟田土壤生物学特性,平衡烤烟氮素营养,提升烟叶品质。

参考文献:

[1] 任小利,王丽萍,徐大兵,等.菜粕堆肥与无机肥配施对烤烟产量和品质以及土壤微生物的影响[J].南京农业大学学报,2012,35(2):92-98

- [2] 朱经纬,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
- [3] 韩锦峰,杨素勤,吕巧灵.饼肥种类及其与化肥对比对烤烟生长发育及其产质的影响[J].河南农业科学,1998(3):11-14
- [4] 李振高,骆永明,滕应.土壤与环境微生物研究法[M].北京:科学出版社,2008
- [5] 王岩,沈其荣,史瑞和.有机无机肥料施用后土壤生物量C、N、P的变化及N素转化[J].土壤学报,1998,35(2):227-233
- [6] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986
- [7] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000
- [8] 王瑞新.烟草化学[M].北京:中国农业出版社,2003
- [9] 张云伟,徐智,汤利,等.不同有机肥对烤烟根际土壤微生物的影响[J].应用生态学报,2013,24(9):2551-2556
- [10] 施娴,刘艳红,张德刚,等.猪粪与化肥配施对植烟土壤酶活性和微生物生物量动态变化的影响[J].土壤,2015,47(5):899-903
- [11] 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
- [12] 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
- [13] 刘国顺,李正,敬海霞,等.连年翻压绿肥对植烟土壤微生物量及酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(6):1472-1478
- [14] 张四伟,李根原,朱利群,等.不同有机肥与烟草专用肥配施对烤烟生长、土壤微生物量、产质量及黑胫病的影响[J].江西农业学报,2015,27(11):39-43
- [15] 来璐.土壤微生物量磷影响因素及机理研究[D].北京:中国农业大学,2007
- [16] 李素俭,李新平,刘瑞丰,等.商洛药源基地土壤脲酶、磷酸酶和土壤养分的关系[J].水土保持学报,2010,24(6):227-230
- [17] 李文斌,李新平,李海洋,等.不同掺沙比例对烟区黏质土壤微生态特征的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(11):85-90
- [18] 李波,魏成熙,文庭池,等.农业有机废弃物发酵后的有机肥对植烟土壤微生物数量及酶活性的影响[J].土壤通报,2012,43(4):821-825

- [19] 卢萍, 单玉华, 杨林章, 等. 绿肥轮作还田对稻田土壤溶液氮素变化及水稻产量的影响[J]. 土壤, 2006, 38(3): 270-275
- [20] 巨晓棠, 刘学军, 张福锁. 长期施肥对土壤有机氮组成的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(1): 87-91
- [21] 王军, 丁效东, 张士荣, 等. 不同碳氮比有机肥对沙泥田烤烟根际土壤碳氮转化及酶活性的影响[J]. 生态环境学报, 2015, 24(8): 1280-1286
- [22] 刘国顺. 烟草栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003
- [23] 张书泰, 杨秋明, 陈钦, 等. 福建南平不同植烟土壤微生物数量与养分状况分析[J]. 中国农学通报, 2014, 30(31): 76-81
- [24] 侣国涵, 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
- [25] 刘添毅, 李春英, 熊德中, 等. 烤烟有机肥与化肥配合施用效应的探讨[J]. 中国烟草科学, 2000(4): 23-26
- [26] 郭红祥, 刘卫群, 姜占省. 施用饼肥对烤烟根系土壤微生物的影响[J]. 河南农业大学学报, 2002, 36(4): 344-347
- [27] 武雪萍. 饼肥有机营养对土壤生化特性和烤烟品质作用机理的研究[D]. 山西太谷: 山西农业大学, 2003
- [28] 张恒, 王晶君, 石俊雄. 贵州省主要植烟黄壤氮素矿化潜力研究[J]. 土壤学报, 2013, 50(2): 324-330
- [29] 郭群召, 吴学巧, 黄平俊. 饼肥对土壤性状、烤烟生长及烟叶品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2007(6): 68-70
- [30] 武雪萍, 刘增俊, 赵跃华. 施用芝麻饼肥对植烟根际土壤酶活性和微生物碳、氮的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(4): 541-546
- [31] 武雪萍, 钟秀明, 刘增俊, 等. 饼肥在植烟土壤中的矿化速率和腐殖化系数分析[J]. 中国土壤与肥料, 2007(5): 32-35

Effects of Different Ratios of Cake Fertilizers on Soil Biological Characteristics and Nitrogen Transformation in Tobacco Field

LI Liang¹, ZHANG Peijia², ZHANG Xiang^{1*}, MAO Jiawei¹, SI Xianzong¹, SUO Yanyan¹,
YU Qiong¹, LI Qi³, FAN Yikuan³

(1 *Institute of Plant Nutrition, Agricultural Resources and Environmental Science, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China*; 2 *School of Information, University of Sheffield, Sheffield S10 2TN, UK*; 3 *Henan Tobacco Company, Zhengzhou 450000, China*)

Abstract: The application of sesame cake fertilizer can improve significantly the yield and quality of tobacco in Henan, but its wide use in tobacco planting is hindered by the high cost, however rapeseed cake fertilizer is more abundant and cheaper, and is possibly used to partly replaced sesame cake fertilizer for tobacco planting. In this study, the different ratios of rapeseed and sesame cake fertilizers were designed and their effects on microbial flora and biomass, enzyme activities and nitrogen conversion were studied in order to determine the reasonable ratio of the two cake fertilizers for fertilizing soil and improving tobacco quality. The results showed that compared with other treatments, the treatments of T5 (inorganic fertilizer + 30% rapeseed cake fertilizer + 70% sesame cake fertilizer) and T6 (inorganic fertilizer + 100% sesame cake fertilizer) had better microbial proliferation in the resettling, vigorous growing and budding stages, but the treatments of T2 (chemical fertilizer + 100% rapeseed cake fertilizer) and T3 (chemical fertilizer + 70% rapeseed cake fertilizer + 30% sesame cake fertilizer) had more microorganisms than those other treatments in the mature stage. The microbial biomass carbon reached the peak in the budding stage, but the microbial biomass nitrogen and phosphorus reached the peaks in the resettling stage. The activities of urease, protease, phosphatase and invertase were all significantly increased in the vigorous growing stage except for catalase, and the treatments of T5 and T6 had higher enzyme activities than other treatments. The treatments of T5 and T6 were more consistent with nitrogen nutrition characteristics in high-quality tobacco production and no significant difference between the two treatments. The treatments of T2 and T3 had slow nitrogen mineralization which was not satisfied with the demand for nitrogen absorption by tobacco. Therefore, the ratio of 30% rapeseed cake fertilizer + 70% sesame cake fertilizer is recommended to replace 100% sesame cake fertilizer in tobacco planting because it can save the cost, effectively improve the soil biological characteristics, balance the nitrogen nutrition and improve the quality of tobacco.

Key words: Cake fertilizer; Tobacco field; Soil microorganism; Microbial biomass; Enzyme activity