

有机物料类型对烟草根际微生物及烟叶产质量的影响^①

刘勇军¹, 周羽^{2,4}, 靳志丽³, 彭曙光¹, 周志高², 陈长青⁴, 王兴祥², 李孝刚^{2*}

(1 湖南省烟草科学研究所, 长沙 410004; 2 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008;

3 湖南省烟草公司永州市公司, 湖南永州 425000; 4 南京农业大学农学院, 南京 210095)

摘要: 作为土壤微生物重要的碳、氮源, 有机物料在调节根际微生物群落结构、改善土壤养分循环、提高作物产质方面发挥着重要作用。本文以常规化肥处理为对照, 设定等有效氮条件下水稻秸秆还田、油菜绿肥翻压和饼肥(腐熟)等 3 种有机物料类型对烟草根际土壤酶活性、微生物功能多样性及烟叶产质的影响, 以期合理施用有机物料来提高烟叶品质提供科学依据。结果表明, 稻草还田和油菜绿肥翻压处理显著提升了烟草根际脲酶活性, 但对根际过氧化氢酶活性无显著影响; Biolog 分析发现稻草还田和油菜绿肥翻压显著提高了烟草生育后期根际微生物群落的代谢活性和功能多样性指数, 碳源利用类型差异是引起有机物料处理下烟草根际微生物群落变异的重要因素, 其中糖类碳源影响最大。有机物料处理下烟叶化学指标无显著变化, 但上中等烟叶比例显著提高, 其中稻草还田和油菜绿肥翻压处理下烟叶产值分别比对照提高 29.4%、19.8%。研究表明, 植烟土壤上合理采用有机物料部分替代化肥的施肥措施有效改善了烟草根际微生态环境, 提升烟叶品质, 可作为烟草优质生产的有效栽培措施。

关键词: 有机物料; 根际微生物; 土壤酶活; 烟叶产量和品质

中图分类号: S141 **文献标识码:** A

优质烟叶的生产与土壤性质及养分转化密切相关。然而, 种植烟草过程中片面增施化肥以追求产量效益, 则会造成土壤板结、保肥性质差、微生物活性下降, 最终导致烟草品质降低^[1-2]。陈江华等^[3]研究发现两湖地区土壤有机质、无机氮含量较高, 应注重施用有机碳调控土壤氮素矿化, 以改善烟叶品质。许多研究表明有机物料(包含腐熟有机肥)的施用对增强土壤供肥性能和缓冲能力、改善烟叶品质等方面具有重要作用^[4-6]。在生产实践中, 烟草种植者广泛采用种植绿肥, 施用堆肥、沤肥和廐肥的办法改善土壤结构和养分供应, 从而达到提高烟叶产量和品质的目的^[7]。但是, 许多措施在生产推广中的效果往往不及试验小区有效, 这可能与不同烟叶产区的土壤性状存在显著差异有关^[8-9]。另外, 不同有机物料自身性质的差异很大, 如植物秸秆中一般含有大量的木质素和多酚, 可促进有机质的分解和矿化^[10-11], 而经堆腐处理的饼肥具有高效、稳定、易分解等特性, 对土壤氮素矿化与供应有重要影响^[12]。碳氮比通常是调控有机物料矿化的重要因子^[13]。

作物根际中存在大量对作物生长有益的微生物, 例如固氮菌、促生菌、生防菌等, 在根际土壤养分转化方面起到重要作用。施用有机物料可以提高作物根际微生物活性, 改善作物根系生长, 进而提高作物产量和品质^[14-16]。有研究发现, 芝麻饼肥可以提高烟草根际微生物碳、氮含量, 从而加速土壤有机质转化, 保证烟草营养供应^[17]; 作物秸秆及绿肥还田等措施则能增加土壤微生物的数量, 其中烟田根际土壤细菌、放线菌和纤维分解菌的数量明显增多^[18-20]。由于不同有机物料施用下的烟草根际微生物功能活性变化对土壤养分供应尤其是氮素供应有直接影响, 进而影响到烟叶产量和品质, 因此, 从根际微生物代谢活性角度有助于探讨有机物料作用于烟草产质的机理。为此, 本研究以湘南烟区高有机质土壤为对象, 研究不同有机物料对烟草根际微生物功能多样性、酶活性的影响, 结合分析施用不同有机物料对烤烟烟叶产量、品质以及综合性产值指标的影响, 探讨不同有机物料下烟草根际微生物生态功能与烟叶品质的关系, 以期改良土壤性质、提高烟叶品质提供科学施肥依据。

①基金项目: 中国烟草总公司湖南省公司科技项目(15-18Aa01)资助。

* 通讯作者(xgli@issas.ac.cn)

作者简介: 刘勇军(1981—), 男, 湖南常德人, 博士, 农艺师, 博士研究生, 主要从事烟草种植与栽培方向研究。E-mail: 437962268@qq.com

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2016 年 3 月在永州市蓝山县土市镇坦头村烟田进行(25°31'29.3"N, 112°13'42"E)。当地属中亚热带季风湿润气候区,光照充足,雨量充沛,无霜期长,年平均气温 17.8 ℃,以稻烟轮作为主。试验地土壤基本性质为 pH 7.8、有机质 68.2 g/kg、全氮 4.57 g/kg、全磷 1.34 g/kg、全钾 8.28 g/kg、碱解氮 224.18 mg/kg、有效磷 37.52 mg/kg、速效钾 287.50 mg/kg、阳离子交换量 22.44 cmol/kg。

1.2 试验设计及田间管理

试验设纯化肥 (CK)、稻草还田 (SK)、油菜绿肥翻压 (YK)、饼肥 (BK) 共 4 个处理。各处理总氮用量均为 147 kg/hm², N : P₂O₅ : K₂O 为 1 : 0.9 : 2.8。烟草专用基肥 N : P₂O₅ : K₂O 为 8 : 10 : 11, 饼肥 N : P₂O₅ : K₂O 为 2.1 : 2.4 : 2.6。饼肥生产的主要原料是油菜籽饼,经过完全腐熟处理,由湖南泰谷生物科技股份有限公司生产。各处理的具体施

肥计划如下:SK:将稻草铡断为 0~20 cm 碎段,在烟草移栽前 15 d 均匀抛撒田面,用旋耕机下田将稻草与土壤打烂搅拌,翻耕深度 15~20 cm。稻草的氮含量 7 g/kg,当季氮矿化率以 23% 计^[21],保持与 CK 等氮量则减少专用基肥用量 100 kg/hm²,用过磷酸钙和钾肥(硫酸钾)补足因此减少的磷钾量(不计稻草中的磷钾量),追肥施用同 CK。YK:于 2015 年 10 月播种油菜,在烟草移栽前 15 d 翻压,油菜绿肥鲜料产量 25 500 kg/hm²,翻耕后随即进行耙地和镇压,以加速绿肥腐解过程。油菜鲜料氮含量 3 g/kg,当季氮矿化率以 50% 计^[22],保持与 CK 等氮量则减少专用基肥用量 480 kg/hm²,并用过磷酸钙和钾肥(硫酸钾)补足因此减少的磷钾量(不计油菜中的磷钾量),追肥施用同 CK。BK:饼肥(腐熟)在烟草移栽前做穴肥施入,饼肥含氮量 21 g/kg,当季氮矿化率以 100% 计,保持与 CK 等氮量则减少专用基肥用量 157 kg/hm²,考虑随饼肥带入的磷钾量,用过磷酸钙和钾肥(硫酸钾)补足磷钾的净减少量,追肥施用同 CK。

表 1 各处理具体施肥情况
Table 1 Fertilization information under different treatments

处理	物料添加量(kg/hm ²)	专用基肥(kg/hm ²)	过磷酸钙(kg/hm ²)	钾肥(kg/hm ²)	提苗肥(kg/hm ²)	专用追肥(kg/hm ²)
CK	0	1 050	150	300	90	450
SK	5 250	950	225	330	90	450
YK	25 500	570	540	405	90	450
BK	600	893	150	286	90	450

注:CK:对照(纯化肥处理),SK:稻草秸秆还田,YK:油菜绿肥翻压,BK:饼肥,下同。

试验采取随机区组设计,3 个重复。小区面积为 60 m²,每小区 100 株烟草。供试烟草品种为云烟 87,烟苗移栽日期为 3 月 17 日,田间管理按照当地优质烟生产技术规程实施。

1.3 采样与分析

1.3.1 根际土壤样品采集 于烟草移栽后 37 d (4 月 24 日)、68 d (5 月 25 日)和 113 d (7 月 10 日)采集烟草根际土壤样品。每个小区随机挖取 3 株烟草,用抖土法收集根际土壤^[23],装袋编号放入冰盒带回实验室测定根际脲酶、过氧化氢酶和微生物功能多样性等指标。

1.3.2 烟叶样品采集 烟叶成熟后采收、烘烤和分级。各小区分别采收,烟叶单独扎杆编号。取上部烟叶中的 B2F 烟叶,低温(≤50 ℃)烘干后用粉碎机磨成粉末,测定其总氮、还原糖以及烟碱的含量。

1.3.3 分析方法 微生物群落功能多样性采用

Biolog 生态板测定。操作方法为:称取相当于 5 g 风干土壤的鲜土加入到盛有 45 ml 灭菌的生理盐水(8.5 g/kg)三角瓶中,室温振荡 30 min 后静置。在超净台上,操作之前,先把三角瓶中的土壤溶液摇一摇,静置 3 min 后,吸取 1 ml 上层土壤悬浮液至 9 ml 无菌生理盐水中,混匀,再吸取 1 ml 混合液至 9 ml 无菌生理盐水中,混匀再用排枪吸取稀释液至 96 孔生态板,25 ℃ 恒温避光培养,72 h 后在 580 nm 波长下测定吸光度值(OD),参照 Zhong 和 Cai^[24]的方法计算表征根际微生物活性的 AWCD 值(average well color development,平均颜色变化率)、根际微生物多样性指数中的 Shannon 丰富度指数(H)和 McIntosh 均匀度指数(U)。

过氧化氢酶、脲酶的测定分别采用高锰酸钾滴定、靛酚蓝比色法^[25],烟叶的总氮、还原糖、烟碱测定采用行业标准方法 YC/T161-2002、YC/T159-

2002、YC/T468-2013 连续流动法测定。各处理小区烟叶烤制后照国家烟草分级标准 GB2635-1992 进行分级,各级别烟叶价格参照当地烟叶收购价格,由此计算烟叶的产量、产值、均价和中上等烟比例。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 进行图表绘制,运用 SPSS17.0 进行统计分析,多重比较方法采用新复极差(SSR)法。

2 结果与分析

2.1 不同有机物料对烟草根际酶活性影响

在烟苗移栽后的不同时期,有机物料对烟草根际酶活性影响不同(表 2)。与单施化肥对照相比,稻草还田处理的烟草根际脲酶活性在移栽后 37、68、113 d 均表现为显著提升;油菜翻压处理在移栽后 37 d 显

著降低了烟草根际脲酶活性,但在移栽后 68 d 和 113 d 均显著提升了根际脲酶活性;饼肥处理显著降低了移栽后 37 d 的烟草根际脲酶活性,但移栽后 113 d 的根际脲酶活性与对照无显著差异。与对照相比,不同有机物料处理对烟草根际过氧化氢酶活性没有明显影响。

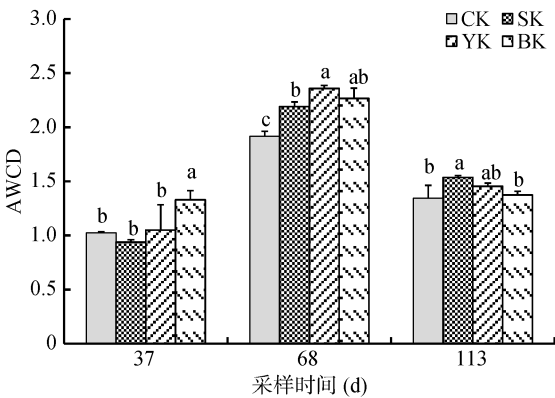
2.2 不同有机物料对根际微生物活性的影响

AWCD 可以评判土壤微生物群落的碳源利用能力。如图 1 所示,在移栽后 37 d,饼肥处理显著提升了烟草根际微生物 AWCD 值;移栽后 68 d,所有处理的根际微生物 AWCD 值均迅速上升,其中施用有机物料处理的烟草根际微生物活性均显著高于单施化肥的对照处理。在烟草成熟期后期(移栽后 113 d),各处理的根际微生物 AWCD 值均迅速下降,其中稻草还田处理下的烟草根际微生物活性显著高于对照。

表 2 不同有机物料在各时期对烟草根际土壤酶活性的影响
Table 2 Effects of different organic materials on rhizosphere enzyme activities at different sampling time

酶活	处理	37 d	68 d	113 d
脲酶 (NH ₄ -N, mg/(g·d))	CK	1.82 ± 0.07 b	1.49 ± 0.05 c	1.70 ± 0.14 c
	SK	2.13 ± 0.09 a	1.97 ± 0.23 bc	2.55 ± 0.05 a
	YK	1.58 ± 0.10 c	2.58 ± 0.07 a	2.30 ± 0.07 ab
	BK	1.41 ± 0.06 c	2.32 ± 0.47 ab	1.82 ± 0.41 bc
过氧化氢酶 (0.3% H ₂ O ₂ , mg/(g·20 min))	CK	2.03 ± 0.06 a	1.93 ± 0.01 a	2.34 ± 0.02 a
	SK	2.07 ± 0.05 a	2.10 ± 0.03 a	2.26 ± 0.04 a
	YK	2.10 ± 0.02 a	1.94 ± 0.04 a	2.33 ± 0.00 a
	BK	2.05 ± 0.01 a	2.12 ± 0.05 a	2.35 ± 0.05 a

注:表中同列数据小写字母不同表示处理间差异达到 $P<0.05$ 显著水平,下同。



(CK:纯化肥,SK:稻草还田,YK:油菜绿肥翻压,BK:饼肥;柱图上方不同小写字母表示处理间差异达到 $P<0.05$ 显著水平,下同)

图 1 不同有机物料在各时期对烟草根际微生物活性的影响

Fig. 1 Effects of different organic materials on rhizosphere microbial AWCD at different sampling time

2.3 不同有机物料对根际微生物多样性的影响

随着烟草生育推进,烟草根际微生物群落 Shannon

丰富度指数和 McIntosh 均匀度指数均呈现先上升后下降的规律(表 3)。与对照相比,烟草移栽后 37 d,油菜绿肥翻压显著提升了烟草根际微生物群落的 Shannon 指数,而稻草还田和饼肥处理对其无显著影响;烟草移栽后 68 d,油菜翻压和饼肥处理均显著提升了烟草根际微生物群落 Shannon 多样性;烟草移栽后 113 d,稻草还田处理显著提升烟草根际微生物群落 Shannon 多样性,而其他处理对其无显著影响。就微生物群落均匀度而言,烟草移栽后 37 d 和 68 d,油菜翻压和饼肥处理均显著提升了微生物群落 McIntosh 指数;烟草移栽后 113 d,不同有机物料均显著提高了根际微生物群落的 McIntosh 指数。总体来看,稻草还田处理到了烟草成熟期后期(113 d)仍然对烟草根际微生物群落多样性有显著影响,而油菜绿肥翻压和饼肥处理在从伸根期到成熟期的 3 个采样时期均不同程度地提高了烟草根际微生物群落多样性。

表 3 各采样时期不同有机物料对烟草根际微生物多样性指数的影响
Table 3 Effects of different organic materials on diversity indices of rhizosphere microbial community at different sampling time

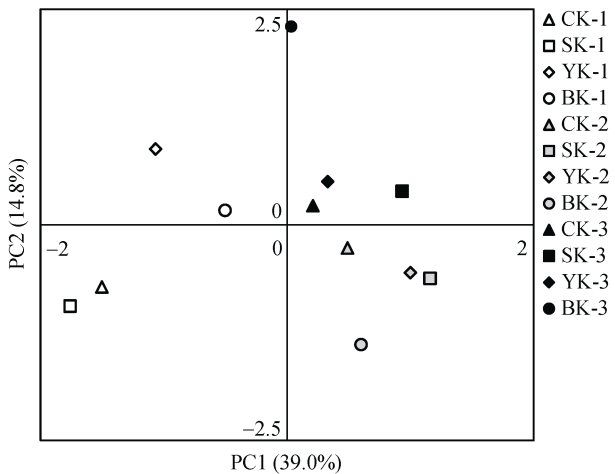
处理	丰富度指数 (Shannon)			均匀度指数 (McIntosh)		
	37 d	68 d	113 d	37 d	68 d	113 d
CK	2.99 ± 0.07 b	4.65 ± 0.02 c	3.37 ± 0.01 b	7.22 ± 0.18 b	12.58 ± 0.56 b	8.22 ± 0.15 b
SK	3.06 ± 0.08 b	4.76 ± 0.01 bc	3.52 ± 0.02 a	6.89 ± 0.06 b	13.37 ± 0.45 ab	9.50 ± 0.10 a
YK	3.24 ± 0.01 a	4.88 ± 0.12 ab	3.45 ± 0.01 ab	8.71 ± 0.35 a	13.94 ± 0.85 a	9.30 ± 0.13 a
BK	3.13 ± 0.09 ab	4.95 ± 0.02 a	3.39 ± 0.01 b	8.59 ± 0.39 a	13.43 ± 0.15 a	9.32 ± 0.33 a

2.4 不同有机物料下烟草根际微生物群落的主成分分析

对培养 72 h 的不同采样时期各处理根际微生物碳源代谢能力进行主成分分析, 提取特征值大于 1 的有 7 个因子, 选取前 2 个主成分因子进行分析。其中第 1 主成分 (PC1) 贡献率是 39.0%, 第二主成分贡献率是 14.8%。从图 2 可知, 采样时期对烟草根际微生物群落的贡献率分离影响较大。进一步分析了根际微生物对不同碳源的利用情况, 发现与第一主成分具有较高相关性的碳源有 17 个, 主要包括糖类 6 个、酸类 3 个、酯类 3 个(表 4); 与第二主成分具有较高相关性的碳源有 4 个: 酸类、酯类、胺类、氨基酸类等碳源各 1 个。因此, 碳源类型利用差异是引起不同处理烟草根际微生物群落变异的重要因素, 其中糖类碳源对烟草根际微生物群落在 PC1 和 PC2 分异上占主导作用。

2.5 不同有机物料对烟叶化学成分的影响

与施用纯化肥对照相比, 有机物料处理的烤后烟



(图例中 -1 表示移栽后 37 d; -2 表示移栽后 68 d;
-3 表示移栽后 113 d)

图 2 各处理在不同时期烟草根际微生物群落的主成分分析

Fig. 2 Analysis of principal components of rhizosphere microbial communities at different sampling time

叶还原糖含量呈下降趋势, 其中饼肥处理的还原糖含量显著低于对照, 但有机物料处理对烟叶烟碱、总氮含量的影响不明显(表 5)。与还原糖含量趋势相一致, 不同有机物料处理的糖碱比也表现为降低趋势, 其中油菜翻压和饼肥处理的糖碱比显著低于对照。有机物料处理对烤后烟叶的氮碱比没有产生明显影响。

2.6 不同有机物料对烟叶经济性状的影响

施用有机物料对烤烟烟叶产量影响不显著, 但明

表 4 主要碳源的主成分载荷因子
Table 4 Principal component load factors of main carbon sources

主成分	碳源	特征值
主成分 1	苯乙基胺(胺类)	0.896
	a-环式糊精(糖类)	0.893
	葡萄糖-1-磷酸盐(糖类)	0.865
	丙酮酸甲酯(酯类)	0.859
	D-半乳糖内酯(酯类)	0.844
	a-丁酮酸(酸类)	0.802
	D,L-a-甘油(醇类)	0.785
	肝糖(糖类)	0.779
	l-赤藻糖醇(醇类)	0.771
	y-羟基丁酸(酸类)	0.769
	甘氨酸-L-谷氨酸(氨基酸)	0.762
	D-纤维二糖(糖类)	0.751
	a-D-乳糖(糖类)	0.722
	吐温 80(酯类)	0.668
	β-甲基 D-葡萄糖苷(糖类)	0.651
	D-甘露醇(醇类)	0.616
	4-羟基苯甲酸(酸类)	0.613
主成分 2	吐温 40(酯类)	0.725
	D-半乳糖醛酸(酸类)	-0.684
	腐胺(胺类)	0.674
	L-苯基丙氨酸(氨基酸)	0.607

注: 特征向量绝对值≥0.6。

显提高了上等烟或上中等烟的比例，从而提高了烟叶产值；其中稻草还田、油菜翻压处理的上等烟比例、上中等烟比例、产值均显著高于对照，以稻草还田处

理的效果为最优(表 6)。与对照(单施化肥)相比，稻草还田处理烤烟上中等烟比例和产值分别提高了 9.2%、29.4%；油菜翻压处理则分别提高了 5.0%、19.8%。

表 5 不同有机物料对上部烟叶化学成分的影响
Table 5 Effects of different organic materials on chemical indices of upper tobacco leaves

处理	还原糖(%)	烟碱(%)	总氮(%)	还原糖/烟碱	总氮/烟碱
CK	25.8 ± 0.3 a	3.2 ± 0.1 a	1.7 ± 0.2 a	8.2 ± 0.2 a	0.5 ± 0.0 a
SK	24.5 ± 0.2 ab	3.1 ± 0.2 a	1.7 ± 0.1 a	7.9 ± 0.1 ab	0.6 ± 0.1 a
YK	23.8 ± 0.3 ab	3.3 ± 0.3 a	1.8 ± 0.3 a	7.3 ± 0.1 b	0.5 ± 0.1 a
BK	22.5 ± 0.5 b	3.5 ± 0.3 a	1.6 ± 0.2 a	6.4 ± 0.3 c	0.5 ± 0.1 a

表 6 不同有机物料对烤烟经济性状的影响
Table 6 Effects of different organic materials on economic characters of flue-cured tobacco

处理	产量(kg/hm ²)	产值(元/hm ²)	上等烟(%)	上中等烟(%)
CK	1 914 ± 44 a	36 944 ± 1 586 c	56.1 ± 1.9 b	86.5 ± 3.1 c
SK	2 007 ± 56 a	47 822 ± 1 818 a	61.2 ± 3.2 a	94.5 ± 4.9 a
YK	1 962 ± 63 a	44 276 ± 2 361 ab	59.7 ± 2.1 a	90.8 ± 2.6 ab
BK	1 935 ± 84 a	41 217 ± 3 020 bc	58.1 ± 3.3 ab	87.9 ± 4.9 bc

3 讨论

本研究表明施用不同种类的有机物料在某一时期均能明显提高烟草根际微生物活性和多样性。Peacock 等^[27]发现添加外源有机物料可以刺激土壤微生物生长。杨宇虹等^[28]研究表明施用农家肥比有机肥更利于微生物生长,其中微生物菌群对不同碳源利用类型响应敏感。植烟土壤上小麦秸秆还田后烟草根际细菌、放线菌和纤维分解菌的数量增多,而绿肥翻压后烟田的细菌、放线菌数量增加,真菌受到抑制^[19-20, 26]。因此,在设定等有效氮的情况下施入高碳氮比的稻草和油菜为土壤微生物提供大量的有机碳源,从而刺激了土壤微生物的生长,提高了微生物功能多样性^[29]。此外,根际微生物活性往往与植物生长发育阶段密切相关^[30],本研究发现施用稻草和油菜等有机物料明显提升了烟草生育后期的根际微生物功能活性,这也反映了施用这些有机物料的烟草在生育后期其根际代谢活性仍然较高,从而改善了烟草生理生长,这可能有利于烟叶品质形成。与此相一致,对烟草根际微生物酶活分析发现稻草还田显著提高了烟草根际脲酶的活性(表 2),这应与秸秆的施入提高了烟草根际微生物活性密切相关。有研究表明秸秆还田可以提高根际中氨化细菌、硝化细菌以及固氮菌数量,促进土壤中氮素的转化^[31]。因此稻草还田处理可能显著促进了烟草根际与氮素营养转化有关的微生物类群活性,但对根际过氧化氢酶没有显著影响,这与 Zhang 等^[32]

研究结果相似。

主成分分析结果表明不同生长时期烟草根际微生物对碳源物质利用类型不同,其中对糖类物质的利用最强(表 4)。在烟草生育后期,稻草还田处理促进了根际微生物对糖、酸、酯等碳类的利用,说明稻草还田处理下烟草根际碳类代谢活性增强。有研究发现随着烟草进入生育后期,烟株体内开始由氮代谢为主导转化成碳代谢为主导^[33]。碳代谢途径为烟草的光合作用与呼吸作用等生理代谢主要组成部分,调节烟株体内的碳氮平衡,对烟叶品质形成具有重要影响^[34]。因而在高有机质土壤中施用水稻秸秆可改善烟株体内碳代谢活性,进而利于烟株体内碳、氮的协同分配,改善烟叶品质。然而对高有机质土壤中施用稻草是如何影响烟草生理代谢过程还需做进一步研究。

高家合等^[35]研究表明,施用有机肥可以促进烟株根系的生长发育,调节烟叶化学品质。而本研究发现不同有机物料施用对烟叶化学品质未有显著影响。研究发现施用氨基酸有机肥不会显著影响烟草化学品质指标,但显著提升了烤烟外观质量及产值^[36],施用其他碳基肥料也表现出同样的效果^[37- 38]。本研究也发现稻草还田和油菜绿肥翻压处理下烤烟的上中等烟比例显著提升,获得了比常规化肥处理更高的产值。这可能是因为施用有机物料改善了烟草根系微生态环境,促进植株生理代谢活性,进而有利于后期植株体内营养物质协同分配和芳香类物质的累积,这

也许是稻草还田和油菜绿肥翻压处理改善烟草品质的作用机理^[39]。

4 结论

实施水稻秸秆还田或油菜绿肥掩埋替代部分化肥能显著提升烟草生育后期根际微生物功能多样性和脲酶活性,从而改善了植株后期生理代谢活性,有利于烟草成熟期间烟叶品质的形成,因而最终提高了烟叶的上中等烟率及其产值。研究结果一定程度上揭示了施用有机物料提升烟叶品质的可能作用机理,但尚需进一步研究施用有机物料引起的烟草成熟期烟叶碳、氮代谢平衡变动及其与烟叶致香物质、呈色物质等成分的前体物质形成与积累的关系,以期在烟草生理生化基础上阐明有机物料施用改善烤烟烟叶品质的作用机制。

参考文献：

- [1] 刘国顺. 国内外烟叶质量差距分析和提高烟叶质量技术途径探讨[J]. 中国烟草学报, 2003(9)(增刊): 54-58
- [2] 刘添毅, 黄一兰, 王雪仁, 等. 烟区土壤改良技术措施研究[J]. 中国烟草科学, 2006(3): 10-15
- [3] 陈江华, 李志宏, 刘建利, 等. 全国主要烟区土壤养分丰缺状况评价[J]. 中国烟草学报, 2004, 10(3): 18-22
- [4] 李军营, 邓小鹏, 杨坤, 等. 施用有机肥对植烟土壤理化性质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2012(3): 12-16, 34
- [5] 王宏武, 冯柱安, 胡钟胜, 等. 长期施用有机堆肥对土壤性状与烟叶质量的影响[J]. 中国烟草学报, 2012, 18(2): 6-11
- [6] 邓小华, 杨丽丽, 陆中山, 等. 黑麦草绿肥翻压下烤烟减施氮量研究[J]. 中国烟草学报, 2016, 22(6): 70-77
- [7] 牛桂言, 邵惠芳, 朱金峰, 等. 我国植烟土壤修复的研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2017, 19(3): 115-122
- [8] 姜超强, 李德成, 王火焰, 等. 亳州烟区烤烟不同品种和产区间烟叶钾氯含量的差异分析[J]. 中国农业科技报, 2016, 18(1): 120-128
- [9] 屈健康, 刘健康, 薛剑波, 等. 标准化施肥对凉山烟叶发展的影响[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(1): 58-61
- [10] Jarvis S C, Stockdale E A, Shepherd M A, et al. Nitrogen mineralization in temperate agricultural soils: Processes and measurement[J]. *Advances in Agronomy*, 1996, 57(8): 187-235
- [11] Cadisch G, Giller K E. Driven by nature: Plant litter quality and decomposition[J]. *Angewandte Chemie*, 1997, 47(51): 9989-9992
- [12] 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]. 山西晋中: 山西农业大学, 2003
- [13] Cordovil C M, Cabral F, Coutinho J. Potential mineralization of nitrogen from organic wastes to ryegrass and wheat crops[J]. *Bioresource Technology*, 2007, 98(17): 3265-3268
- [14] 程万莉, 刘星, 高怡安, 等. 有机肥替代部分化肥对马铃薯根际土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. 土壤通报, 2015, 46(6): 1459-1465
- [15] 李絮花, 杨守祥, 于振文, 等. 有机肥对小麦根系生长及根系衰老进程的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(4): 467-472
- [16] 张绪成, 于显枫, 王红丽, 等. 半干旱区减氮增钾、有机肥替代对全膜覆盖垄沟种植马铃薯水肥利用和生物量积累的调控[J]. 中国农业科学, 2016, 49(5): 852-864
- [17] 武雪萍, 刘增俊, 赵跃华, 等. 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
- [18] 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
- [19] 林云红, 查永丽, 毛昆明, 等. 小麦秸秆覆盖量对不同植烟土壤微生物数量的影响[J]. 作物研究, 2012, 26(6): 664-667
- [20] 陈晓波, 官会林, 郭云周, 等. 绿肥翻压对烟地红壤微生物及土壤养分的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2011(4): 74-78
- [21] Takahashi S, Uenosono S, Ono S. Short- and long-term effects of rice straw application on nitrogen uptake by crops and nitrogen mineralization under flooded and upland conditions[J]. *Plant and Soil*, 2003, 251(2): 291-301
- [22] 高桂娟, 李志丹, 韩瑞宏, 等. 3种南方绿肥腐解特征及其对淹水土壤养分和酶活性的影响[J]. 热带作物学报, 2016, 37(8): 1476-1483
- [23] 毛达如. 植物营养研究方法[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2005
- [24] Zhong W H, Cai Z C. Long-term effects of inorganic fertilizers on microbial biomass and community functional diversity in a paddy soil derived from quaternary red clay[J]. *Applied Soil Ecology*, 2007, 36(2/3): 84-91
- [25] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986
- [26] 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
- [27] Peacock A D, Mullen M D, Ringelberg D B, et al. Soil microbial community responses to dairy manure or ammonium nitrate applications[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2001, 33(7/8): 1011-1019
- [28] 杨宇虹, 陈冬梅, 晋艳, 等. 不同肥料种类对连作烟草根际土壤微生物功能多样性的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(1): 105-111
- [29] Zhou Z C, Gan Z T, Shangguan Z P, et al. Effects of long-term repeated mineral and organic fertilizer applications on soil organic carbon and total nitrogen in a semi-arid cropland[J]. *European Journal of Agronomy*, 2013, 45: 20-26

- [30] Su Y Z, Li Y L, Cui J Y, et al. Influences of continuous grazing and livestock exclusion on soil properties in a degraded sandy grassland, Inner Mongolia, Northern China[J]. *Catena*, 2005, 59(3): 267–278
- [31] 钱海燕, 杨滨娟, 黄国勤, 等. 秸秆还田配施化肥及微生物菌剂对水田土壤酶活性和微生物数量的影响[J]. *生态环境学报*, 2012, 21(3): 440–445
- [32] Zhang J, Bo G, Zhang Z, et al. Effects of straw incorporation on soil nutrients, enzymes, and aggregate stability in tobacco fields of China[J]. *Sustainability*, 2016, 8(8): 710
- [33] 张森, 许自成, 李京京, 等. 烟草碳氮代谢及其调控技术研究进展[J]. *生物技术进展*, 2016, 6(5): 312–318
- [34] 苏鑫, 姬厚伟, 刘剑, 等. 烟草中糖类物质分析的研究进展[J]. *贵州农业科学*, 2017, 45(3): 44–49
- [35] 高家合, 杨祥, 李梅云, 等. 有机肥对烤烟根系发育及品质的影响[J]. *中国烟草科学*, 2009, 30 (6): 38–41, 45
- [36] 韩小斌, 杨超, 许安定, 等. 氨基酸有机肥对植烟土壤及烤烟生长的影响[J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2014, 36(8): 1–7
- [37] 李小龙, 孙占伟, 过伟民, 等. 纳米碳增效肥料对烟草农艺性状和经济指标的影响[J]. *土壤*, 2016, 48(4): 831–834
- [38] 黄化刚, 班国军, 陈垚, 等. 多孔改良剂对毕节烟区土壤性状及烤烟产质量的影响[J]. *土壤学报*, 2017, 54(6): 1427–1437
- [39] 刘勤, 曹志洪. 烟草硫素营养与烟叶品质研究进展[J]. *土壤*, 1998, 30(6): 320–323, 327

Effects of Different Organic Materials on Rhizosphere Microbes, Yield and Quality of Tobacco Leaves

LIU Yongjun¹, ZHOU Yu^{2,4}, JIN Zhili³, PENG Shuguang¹, ZHOU Zhigao², CHEN Changqing⁴,
WANG Xingxiang², LI Xiaogang^{2*}

(1 *Hunan Tobacco Science Institute, Changsha 410004, China*; 2 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*; 3 *Yongzhou Tobacco Company of Hunan Province, Yongzhou, Hunan 425000, China*; 4 *College of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China*)

Abstract: Organic materials as the important carbon and nitrogen sources for soil microorganisms play crucial roles in regulating rhizosphere microbial community, nutrient cycling and improving crop yield and quality. Under the same amount of nitrogen input, a field experiment was conducted to examine the effects of different organic materials (rice straw, rape green manure and cake fertilizer, compared to the conventional chemical fertilizers as the control) on enzyme activities, rhizosphere microbial functional diversity and yield and quality of tobacco leaves in order to provide scientific information on proper use of organic materials to improve tobacco leaf quality. The results showed that the addition of rice straw and rape greens significantly enhanced urease activity, while had no significant effect on hydrogen peroxide activity in tobacco rhizosphere. Biolog analysis revealed that the addition of rice straw and rape greens significantly increased AWCD values and functional diversity indices in tobacco rhizosphere at the late growth stage. The principal component analysis indicated that the differences in carbon sources utilized by rhizosphere microbes were an important factor in the variation of microbial community in tobacco rhizosphere, in which sugars had the greatest effect. In addition, the addition of rice straw and rape greens significantly decreased reducing sugar content and sugar to nicotine ratio, improved the proportion of mid to high-grade leaves and thus increased the production value of tobacco leaves by 29.4% and 19.8%, respectively, as compared with the control. It is indicated that the proper use of organic materials as partial replacement of chemical fertilizers, can effectively improve the microbial environment of tobacco rhizosphere and tobacco leaf quality, thus can be recommended as an effective cultivation practice to high-quality tobacco leaf production.

Key words: Organic materials; Rhizosphere microbes; Soil enzyme activity; Yield and quality of tobacco leaves