

皖南烤烟根际微生物与焦甜香特色风格形成的关系^①

邱立友¹, 祖朝龙², 杨超³, 马称心², 刘国顺³

(1 河南农业大学生命科学学院, 郑州 450002; 2 安徽省皖南烟叶有限责任公司, 安徽宣城 242000;

3 河南农业大学国家烟草栽培生理生化研究基地, 郑州 450002)

摘要: 2006—2007 年对皖南烟区 4 种主要质地土壤冲积粉沙土、河滩沙壤土、冲积沙壤土和水稻土烤烟根际微生物进行了系统研究, 发现不同生长期烤烟根际微生物的数量团棵期最少, 至旺长期最多, 成熟期和采收期逐渐减少。与之相似, 根际微生物生物量 C (MBC) 以团棵期最低, 旺长期和成熟期较高, 采收期有所下降。在皖南选取具代表性的 19 个土样, 包括 7 种不同质地土壤, 种植 4 个烤烟品种, 分析发现根际 MBC 与有机质和碱解 N 含量呈极显著的正相关, 据此可将土样分为 3 大类型, 分别是低 MBC 的相对贫瘠的土壤、中等 MBC 的中等肥力的土壤和高 MBC 的肥沃土壤。焦甜香气较好的烤烟多集中于 MBC 在 350~380 mg/kg 干土的中等肥力的土壤上。表明烤烟旺长期根际 MBC 与烤烟品种无关, 而仅与土壤性质有关, 焦甜香特色风格的形成与根际 MBC 有密切的关系。

关键词: 烤烟; 焦甜香特色; 根际微生物; 微生物生物量

中图分类号: Q142.3

土壤微生物是土壤肥力的重要组成部分, 参与土壤有机质分解、腐殖质形成、土壤养分转化和循环, 以及产生植物生长促进物质或侵染植物造成病害等^[1-2]。由于土壤微生物的比表面积远远大于动物和植物, 可与环境因子充分作用, 因此与植物或动物群落相比, 土壤微生物对环境改变和胁迫的反应更敏感^[3]。随着粮食需求的不断增长、土地开发利用强度的不断加大和土壤污染的不断加剧, 人们对土壤微生物的研究愈来愈重视, 从多尺度多角度开展了深入研究, 包括微生物生物量, 如微生物生物量 C (MBC) 或 N (MBN)、底物诱导呼吸 (substrate-induced respiration, SIR)、代谢商 (metabolic quotient, qCO₂) 或比呼吸速率 (specific respiratory rate)、平板计数或显微计数等; 微生物生长和活性, 如细菌 DNA 合成的 [³H]-胸腺嘧啶脱氧苷整合分析 (thymidine incorporation assay)、蛋白质合成的 [³H]-亮氨酸整合分析 (leucine incorporation assay); 微生物群体结构, 如磷脂脂肪酸 (phospholipid fatty acids, PLFAs)、PCR-DGGE 等; 微生物群体功能, 如应用 Biolog 微平板分析群体水平生理图谱 (community-level physiological profile, CLPP); 特异性微生物, 如菌根菌、含质粒细菌等; N 素循环,

如 N 的矿化作用、硝化作用和固氮作用等^[4-6]。

土壤微生物中与植物关系最密切的是根际微生物, 因为根际是土壤-植物生态系统物质交换的活跃界面, 植物将光合产物以根系分泌物和植物残体形式释放到土壤, 供给根际微生物碳源和能源, 而微生物则将有机养分转化成无机养分, 以利于植物吸收利用。这种植物-微生物的相互作用维系或主宰了陆地生态系统的生态功能^[7]。对土壤微生物研究较多的是植物类型与土壤微生物的关系, 土壤类型与土壤微生物的关系, 以及土壤管理制度如作物轮作、耕作、化学农药和肥料的使用以及农田灌溉等与土壤微生物的关系等^[8-12], 但对土壤微生物与植物品质 (特色或道地) 的关系研究较少。

自 2003 年在皖南华阳河流域部分植烟地块发现具有津巴布韦烟叶特有的焦甜香风格的烟叶后, 经在该烟区主要质地的土壤冲积沙壤土、河滩沙壤土、冲积粉沙土和水稻土植烟, 其他生态条件如光、肥、气和温度等基本相同, 能够稳定表现出焦甜香风格的主要是冲积沙壤土, 其机理值得深入研究。本文应用培养法和微生物生物量 C (MBC) 对皖南烟区不同质地土壤烤烟根际微生物与烟叶品质焦甜香风格的关系进行了探讨, 以期表明烤烟根际微生物与烟叶品质有密

①基金项目: 国家烟草局重点项目 (2006-2-2) 资助。

作者简介: 邱立友 (1963—), 男, 河南信阳人, 博士, 教授, 主要从事植物资源保护与利用研究。E-mail: qliyou@henau.edu.cn

切的关系。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2006—2007 年在安徽宣城进行，在皖南

烟区选取不同质地土壤共 19 个样点，种植当地适栽烤烟品种（表 1），土壤主要化学成分分析结果列于表 2。常规栽培管理，分别于烤烟生长的团棵期、旺长期、成熟期和采收期采用 5 点取样法取烤烟根际土，测定微生物的数量和生物量。

表 1 皖南烟区 19 个取样点资料

Table 1 Information of 19 sampling sites in south Anhui

编号	地点	栽培品种	土壤质地	土地利用现状	编号	地点	栽培品种	土壤质地	土地利用现状
1	宣州区文昌镇	K326	冲积沙壤土	水田	11	泾县章渡镇	云烟 97	冲积粉沙土	旱地
2	宣州区文昌镇	云烟 87	冲积沙壤土	旱地	12	泾县章渡镇	云烟 87	冲积粉沙土	旱地
3	宣州区文昌镇	9601	冲积沙壤土	水田	13	泾县丁家桥镇	云烟 87	冲积粉沙土	水田
4	宣州区文昌镇	云烟 97	冲积沙壤土	旱地	14	郎溪县姚村乡	云烟 97	坡积沙壤土	水田
5	南陵县弋江镇	云烟 97	冲积沙壤土	水田	15	宣州区黄渡乡	云烟 87	冲积粉沙土	旱地
6	南陵县弋江镇	云烟 87	冲积沙壤土	水田	16	芜湖县红杨镇	云烟 87	冲积粉沙土	旱地
7	宣州区杨林乡	云烟 87	冲积沙壤土	旱地	17	芜湖县红杨镇	云烟 87	山地红壤	旱地
8	宣州区新田镇	云烟 87	河滩沙壤土	旱地	18	宣州区寒亭镇	云烟 97	水稻土	水田
9	宣州区周王镇	K326	水稻土	水田	19	黄山区永丰乡	云烟 97	黄棕壤	水田
10	宣州区周王镇	9601	水稻土	水田					

表 2 皖南烟区 19 个样点土壤常规及速效养分

Table 2 Soil nutrient contents of 19 sampling sites in south Anhui

编号	有机质 (g/kg)	碱解 N (mg/kg)	速效 P (mg/kg)	速效 K (mg/kg)	pH	编号	有机质 (g/kg)	碱解 N (mg/kg)	速效 P (mg/kg)	速效 K (mg/kg)	pH
1	24.59	114.41	17.44	388.52	4.06	11	17.23	51.36	45.43	392.72	4.66
2	19.48	92.99	23.53	428.95	6.10	12	12.17	43.30	41.59	345.75	4.40
3	15.67	82.37	15.37	125.05	5.20	13	19.20	89.81	44.93	622.97	4.87
4	24.61	114.42	9.50	345.96	5.00	14	30.43	177.75	12.92	528.35	4.67
5	22.83	114.61	27.19	416.71	4.39	15	22.49	102.62	26.02	576.37	4.19
6	29.62	125.40	13.01	384.57	4.90	16	28.18	137.99	23.51	438.80	4.05
7	18.67	82.78	10.09	329.81	3.96	17	16.86	82.56	49.57	535.97	4.38
8	16.75	66.02	12.85	258.72	5.51	18	26.58	167.34	18.54	424.66	4.07
9	31.84	178.78	18.54	258.69	4.08	19	25.72	101.18	16.20	277.01	5.28
10	33.83	195.42	30.14	258.65	4.02						

1.2 实验方法

1.2.1 土壤质地分析 土样风干过 2 mm 筛后进行机械分析，土壤颗粒组成按国际制用简易比重计法测定。

1.2.2 根际土壤细菌、放线菌和真菌总数测定 采用稀释平板法，培养基分别用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基、改良高氏 1 号培养基和马丁氏培养基^[13]。

1.2.3 根际土壤 MBC 测定 采用 Joergensen 等^[14] 和 Vance 等^[15] 的氯仿熏蒸-K₂SO₄ 浸提法。

1.2.4 烟叶感官品吸评价 烟叶成熟采收烘烤后，

选取具代表性的中部烟叶 C3F 等级和上部烟叶 B2F 等级烟叶切丝，卷制成长 70 mm、圆周长 24.5 mm 的单料烟支，置于 22℃ ± 1℃ 和相对湿度 60% ± 2% 的环境中调节含水率 48 h，取出，请全国卷烟评吸委员会评委进行品吸评价。

2 结果与分析

2.1 不同生长期烤烟根际微生物的变化

选取皖南 4 种主要质地土壤冲积沙壤土、河滩沙壤土、冲积粉沙土和水稻土，对烤烟不同生长期团棵

期、旺长期、成熟期和采收期根际微生物主要类群数量和根际微生物生物量 C 进行了系统分析。该 4 种土壤分别来自样点 2、8、11 和 18 (表 1), 土壤质地的测定结果列于表 3。

表 3 皖南烟区 4 种主要质地土壤的质地分析结果

Table 3 Texture analyse of 4 representative textural soils in south Anhui

编号	土壤质地	物理黏粒 (≤0.01mm)	物理性砂粒	质地
11	冲积粉沙土	12.24	87.76	砂壤土
8	河滩沙壤土	24.44	75.56	轻壤土
2	冲积沙壤土	28.35	71.65	轻壤土
18	水稻土	40.05	59.95	中壤土

从表 3 可见, 根据物理黏粒含量和物理性砂粒含量, 4 种质地土壤的沙性由高到低分别是冲积粉沙土、河滩沙壤土、冲积沙壤土和水稻土, 其质地分别属于砂壤土、轻壤土和中壤土。津巴布韦典型植烟土壤的质地是砂壤土, 黏粒含量 30~100 g/kg, 砂粒含量 800~900 g/kg, 皖南烟区冲积粉沙土与之较为接近。

2.1.1 4 种主要质地土壤植烟不同生长期烤烟根际微生物主要类群的数量变化 采用稀释平板计数法测定了 4 种主要质地土壤植烟不同生长期烤烟根际微生物主要类群细菌、放线菌和真菌的数量变化, 如图 1~3 所示。从图 1~3 可以看出, 不同土壤不同生长期烤烟根际细菌、放线菌和真菌数量的变化趋势基本是团棵期较少, 旺长期达到最高, 成熟期和采收期逐渐减少。但冲积粉沙土、冲积沙壤土和水稻土植烟烤烟根际放线菌的数量在采收期高于成熟期或在所有生长期中最高 (图 2)。不同生长期烤烟根际微生物数量的变化可能主要与烤烟根系的生长代谢活性和土温有关, 尤其是在水稻土中团棵期细菌和真菌数量明显低于其他 3 种土壤, 可能与水稻土含水量高土温低有关, 生产中表现为烤烟早发慢。不同质地土壤烤烟根际微生物数量相比较, 水稻土最多, 其次是河滩沙壤土, 冲积沙壤土和粉沙土较少。

2.1.2 不同生长期烤烟根际 MBC 的变化 4 种主要质地土壤植烟不同生长期烤烟根际 MBC 分析结果如图 4 所示。从图 4 可见, 4 种不同质地土壤植烟旺长期和成熟期烤烟根际 MBC 含量较高, 采收期有所降低, 团棵期含量最低, 各生长期烤烟根际 MBC 的变化趋势与微生物数量的变化基本相同, 但和微生物数量之间没有相关性。各生长期水稻土植烟烤烟根

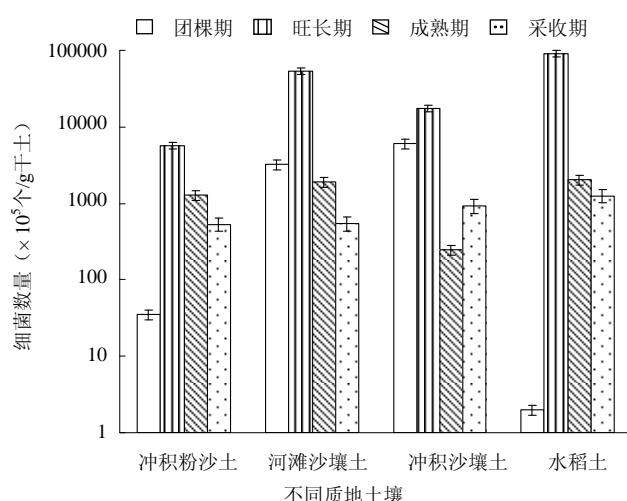


图 1 4 种土壤质地不同生长期烤烟根际细菌数量

Fig. 1 Bacteria numbers in flue-cured tobacco rhizosphere in 4 textural soils

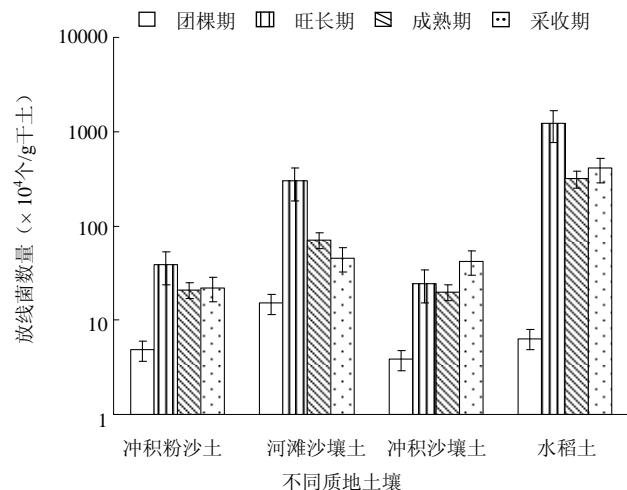


图 2 4 种质地土壤不同生长期烤烟根际放线菌数量

Fig. 2 Actinomycetes numbers in flue-cured tobacco rhizosphere in 4 textural soils

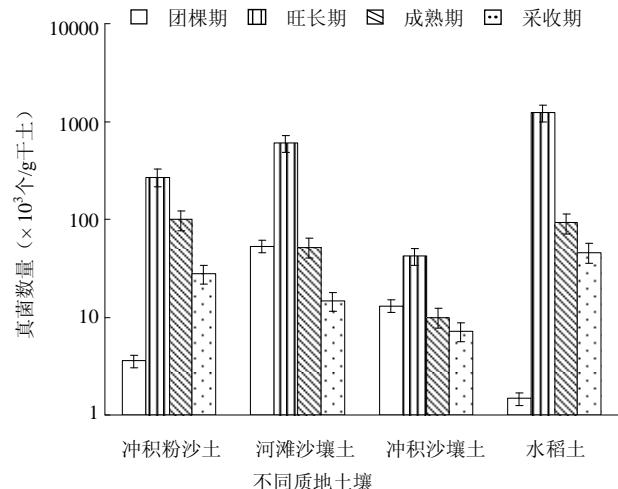


图 3 4 种质地土壤不同生长期烤烟根际真菌数量

Fig. 3 Fungi numbers in flue-cured tobacco rhizosphere in 4 textural soils

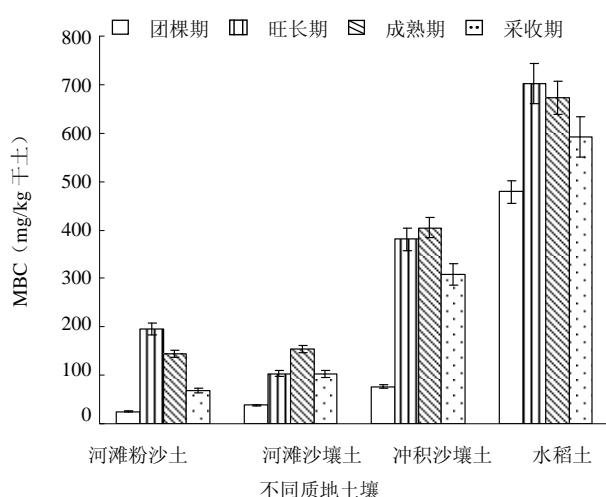


图 4 4 种质地土壤不同生长期烟草根际 MBC

Fig. 4 MBC of flue-cured tobacco rhizosphere in 4 textural soils

际 MBC 含量明显高于其他质地土壤，其次是冲积沙壤土，河滩沙壤土和冲积粉沙土烤烟根际 MBC 含量较低，可能与土壤有机质含量有关。

2.2 皖南烟区 19 个样点烤烟旺长期根际微生物数量和微生物生物量测定结果

上述结果表明，皖南烟区 4 种主要质地土壤植烟烤烟不同生长期根际微生物的数量以旺长期最多，MBC 含量以旺长期和成熟期较高。因此，旺长期或成熟期烟草根际微生物数量和 MBC 含量在烤烟生长过程中具有较高的代表性和典型性。皖南烟区 19 个样点烤烟旺长期根际微生物数量和 MBC 含量测定结果列于表 4。微生物各类群的数量均与 MBC 或土壤有机质、碱解 N 含量无相关性。然而，MBC 与土壤有机质和碱解 N 含量均呈极显著的正相关 ($p < 0.01$)，线性回归结果见图 5 和图 6。根据 19 个土样的烤烟根际 MBC 与有机质或碱解 N 含量的关系，可比较方便地将土样分为 3 个类型（表 4）。第一类型包括芜湖县红杨镇山地红壤和泾县章渡镇冲积粉沙土等共 8 个土样，MBC 含量的范围在 85.5 ~ 195.3 mg/kg，有机质含量范围在 12.17 ~ 22.49 g/kg，碱解 N 含量范围在 43.30 ~ 102.6 mg/kg，属于低有机质、低碱解 N 和低 MBC 含量的较贫瘠的土壤；第二类型包括南陵县弋江镇和宣州区文昌镇冲积沙壤土等共 7 个土样，MBC 含量的范围在 247.7 ~ 393.7 mg/kg，有机质含量范围在 19.48 ~ 30.48 g/kg，碱解 N 含量

表 4 皖南烟区 19 个样点烤烟旺长期根际土壤微生物数量、MBC 和烟叶品吸结果

Table 4 Microbe numbers, MBCs in flue-cured tobacco rhizosphere at vigorous growing stage and smoking-test results of tobacco leaves of 19 sampling sites in south Anhui

编号	细菌	放线菌	真菌	MBC	C3F 焦甜感	B2F 焦甜感
	($\times 10^6$ 个/g 干土)	($\times 10^5$ 个/g 干土)	($\times 10^4$ 个/g 干土)	(mg/kg 干土)		
17	3.91	33.02	12.98	85.5	中 ⁺	弱
12	27.72	2.36	17.56	85.8	中 ⁻	中 ⁻
7	5.26	5.02	21.68	89.9	-	-
8	9.23	2.46	10.17	103.9	弱	弱
15	17.12	76.26	72.55	104.9	弱	弱
3	0.56	0.618	21.03	146.6	中 ⁻	弱 ⁻
13	3.64	0.134	2.67	173.5	弱	弱
11	7.58	7.12	73.49	195.3	弱	弱
5	6.58	0.197	10.53	247.7	弱	弱
4	7.06	22.88	21.18	301.6	弱	弱
19	4.95	23.24	5.84	315.1	-	-
14	9.19	2.73	8.59	350.1	中	中 ⁻
16	22.98	16.38	11.89	375.9	中	中 ⁺
2	1.16	0.258	40.6	380.6	中	中
1	3.87	0.0387	5.03	393.7	中 ⁻	弱
9	6.73	2.67	12.94	544.9	中 ⁻	中 ⁻
6	5.28	34.95	51.49	638.8	-	-
10	10.08	1.47	39.29	672.7	弱	弱
18	4.69	10.99	6.7	701.5	弱	弱

注：“-”表示未测。

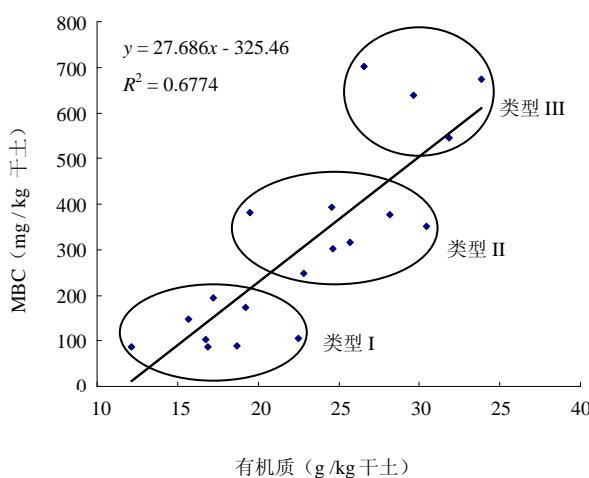


图 5 皖南烟区 19 个样点烤烟旺长期根际 MBC 与有机质的关系

Fig. 5 Relationship between MBC and organic material in flue-cured tobacco rhizosphere at vigorous growing stage of 19 sampling sites in south Anhui

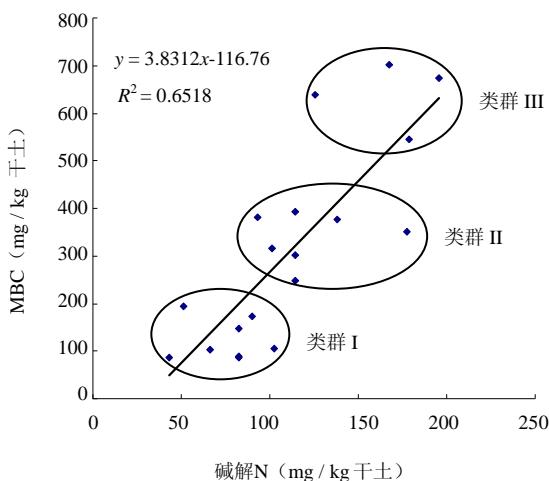


图 6 皖南烟区 19 个样点烤烟旺长期根际 MBC 与碱解 N 的关系

Fig. 6 Relationship between MBC and alkali hydrolyzation N in flue-cured tobacco rhizosphere at vigorous growing stage of 19 sampling sites in south Anhui

范围在 92.99 ~ 137.75 mg/kg, 属于有机质、碱解 N 和 MBC 含量中等的土壤; 第三类型包括宣州区周王镇水稻土和南陵县弋江镇冲积沙壤土等共 4 个土样, MBC 含量的范围在 544.9 ~ 701.5 mg/kg, 有机质含量范围在 26.58 ~ 33.83 g/kg, 碱解 N 含量范围在 125.40 ~ 195.42 mg/kg, 属于有机质、碱解 N 和 MBC 含量均较高的肥沃土壤。从表 4 中还可以看出, 焦甜香气表现较好的烤烟比较集中产地自第

二类型 MBC 含量在 350 ~ 380 mg/kg 干土的土壤中。

3 讨论

对皖南烟区 4 种主要质地土壤冲积沙壤土、河滩沙壤土、冲积粉沙土和水稻土植烟不同生长期团棵期、旺长期、成熟期和采收期根际微生物主要类群数量和根际 MBC 进行了系统分析, 结果表明, 烤烟不同生长期根际微生物的数量以旺长期最多, MBC 含量以旺长期和成熟期较高。旺长期或成熟期烤烟根际微生物数量和 MBC 含量在烤烟生长过程中具有较高的代表性和典型性。皖南烟区 19 个土样烤烟旺长期根际 MBC 含量与有机质和碱解 N 含量呈极显著的正相关, 据此可将土样分为 3 大类型, 焦甜香气表现较好的烤烟比较集中产地自第二类型 MBC 含量在 350 ~ 380 mg/kg 干土的土壤。

湛方栋等^[16]对贵州省 3 种典型的植烟土壤中性紫色土、黄壤和黄色石灰土烤烟不同生长期根际微生物的研究表明, 根际细菌的数量在团棵期最低, 然后逐渐增加, 现蕾期达到峰值, 进而又逐渐减少, 与本试验结果基本一致, 放线菌和真菌数量从团棵期到成熟期呈增长趋势, 与本试验有所不同。可能与土壤类型的差异有关。如河南烟区黄褐土以黏粒级复合体为主体, 土壤中绝大部分有机 C 和 N 不易被矿化, 在烟草不同生育期根际细菌和真菌的数量呈下降趋势, 放线菌的数量在移栽后 38 天达到最大值; 河南烟区潮土以砂粒级复合体为主体, 其有机 C 易被矿化, 在烟草不同生育期根际细菌、放线菌和真菌均呈单峰趋势^[17]。本试验皖南烟区 4 种主要质地土壤烤烟根际细菌和真菌的变化趋势与河南烟区潮土类似, 可能是皖南烟区的该 4 种主要质地土壤的物理砂粒含量较高, 有机质易矿化(表 3)。

刘训理等^[18]根据土壤有效成分的含量将山东省棕壤烟区的棕壤分为肥沃、中等和贫瘠不同肥力, 烤烟旺长期根际细菌和放线菌的数量均是肥沃 > 中等 > 贫瘠, 而真菌的数量则是贫瘠 > 肥沃 > 中等。然而, 对于不同类型土壤之间相比较则没有此规律性, 如贵州省的中性紫色土、黄壤和黄色石灰土^[16], 河南省的黄褐土和潮土^[17], 以及本试验的皖南不同质地土壤。因此, 烤烟根际微生物的数量可能并不能反映土壤肥力, 因为施肥制度、栽培制度及土壤特性等对土壤微生物的数量、种群结构和代谢产生综合影响, 从而导致土壤养分含量指标与微生物数量之间的相关水平会出现较大的差异, 甚至会出现

按常规推断无法解释的结果^[19]。另外，可能也与稀释平板法计数测定代表性不高和存在较大的误差有关，因为自然生境中仅有大约 0.01% ~ 10% 的细菌是可培养的^[20]。为了克服培养法的不足，目前人们常用微生物生物量来描述土壤微生物群体水平，包括微生物生物量 C (MBC)、微生物生物量 N (MBN) 和微生物生物量 P (MBP) 等。

大量研究表明微生物生物量与土壤肥力、有机质含量、有机质降解速率和 N 的矿化等显著相关^[21~22]，并且与植物地上部分的产量呈正相关^[23~24]。在微生物生物量指标中尤以 MBC 是土壤有机 C 的灵敏指标因子，反映微生物群落的相对大小，能快速地响应不同土地管理措施的变化^[25]。本试验分析了皖南烟区 19 个样点土样的旺长期烤烟根际 MBC，这些样点涉及多种土壤质地、烤烟品种和施肥及栽培制度等，发现旺长期烤烟根际 MBC 与土壤有机质和碱解 N 含量呈极显著正相关（图 5 ~ 6），表明应用 MBC 研究植烟土壤肥力也是适用的，同时也证明品种或植物基因型对根际微生物群体大小没有影响，后者仅与土壤性质有关。Donald 等^[23]报道广袤的北美大陆后演替生态系统植被类型从美国西部的花旗松森林至中部大陆的草地再到东部的落叶森林，其土壤 MBC 和 MBN 与植物地上部分的产量呈极显著正相关，也证实土壤 MBC 与植物种类无关仅与土壤性质有关。烤烟品种和土壤类型的两因素试验表明，烤烟的焦甜香风格与烤烟品种无关而与土壤类型有关^[26]。

Girvan 等^[9]根据土壤的总 C 和有机质含量的相关性，将英格兰西部 3 个农场多种植被下的多种类型土壤划分为 3 个类型。类似地，本试验根据皖南烟区 19 个样点土壤的有机质或碱解 N 与烤烟根际 MBC 的相关性，将其划分为 3 个类型，分别是低 MBC 的相对贫瘠的土壤、中等 MBC 的中等肥力的土壤和高 MBC 的肥沃土壤（表 4），这种分类与仅仅依据土壤某些有效成分或总含量进行分类可能更为科学和有效，更有利于分析皖南特色烟叶焦甜香风格形成与土壤肥力或土壤 MBC 的关系。

关于植物品质（特色或道地）形成机理的研究多集中于道地中药材和香米等与气候生态、生物学、生物地球化学及微量元素等的关系方面^[27~30]，特色烤烟的形成机理的研究尚未见报道。皖南烟区烟叶特色风格形成的机理，包括烟叶特色风格的物质基础是什么？这些物质是如何形成的？特色风格的形成与生态因子尤其是与土壤的关系是什么？一直是困扰当地稳定特色烟质量和扩大生产规模的难题。由于烟叶的香

气风格是烟叶中很多种复杂的成分经过燃烧后形成的烟气通过品吸感官鉴定出来的，因此特色烟形成机理的研究更具有挑战性。

土壤微生物是土壤生态系统的基本组分，由于土壤微生物的比表面积远远大于动物和植物，可与环境因子充分作用，因此与植物或动物相比，土壤微生物对环境改变和胁迫的反应更敏感，因此，土壤微生物和微生物群体与土壤理化指标及其他高等生物指标相比，能够提供更全面完整的土壤质量指标^[31]。应用土壤微生物生物量研究植物地上部分的产量已取得了良好的成效^[23~24]，应用土壤微生物生物量研究植物品质（特色或道地）形成机理也可能是可行的。本试验根据皖南烟区 19 个样点土壤的有机质或碱解 N 与烤烟根际 MBC 的相关性，将其划分为 3 个类型，发现焦甜香气表现较好的烤烟比较集中地产自 MBC 中等水平的第二类型，MBC 在 350 ~ 380 mg/kg 干土的土壤中（表 4），表明皖南烤烟焦甜香特色的形成与根际 MBC 有密切关系，其原因可能是根际 MBC 不仅能全面反映土壤特性，还可能能够较好地反映气候生态特性。皖南烟区烤烟焦甜香特色的形成是否与根际微生物的群体结构或群体功能有关，还有待进一步研究。

本试验阐明了皖南烤烟焦甜香特色的形成与根际 MBC 的关系，不仅对皖南烟区稳定特色烟质量、扩大生产规模和种植区划有一定的指导意义，对研究其他植物品质（特色或道地）的形成机理亦具有一定的借鉴意义。

参考文献：

- [1] Balser T, Kinzig A, Firestone M. The Functional Consequences of Biodiversity. Princeton: Princeton University Press, 2002: 265~293
- [2] Cavigelli MA, Robertson GP. The functional significance of denitrifier community composition in a terrestrial ecosystem. Ecology (Washington DC), 2000, 81: 1402~1414
- [3] Winding A, Hund-Rinke K, Rutgers M. The use of microorganisms in ecological soil classification and assessment concepts. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2005, 62(2): 230~248
- [4] Carter MR, Gregorich EG, Angers DA, Beare MH, Sparling GP, Wardle DA, Voroney RP. Interpretation of microbial biomass measurements for soil quality assessment in humid temperate regions. Canadian Journal of Soil Science, 1999, 79(4): 507~520
- [5] Baath E. Thymidine incorporation into macromolecules of

- bacteria extracted from soil by homogenisation centrifugation. *Soil Biology & Biochemistry*, 1992, 24(11): 1157–1165
- [6] Calvo-Bado L, Pettitt T, Parsons N, Petch GM, Morgan JAW, Whipps JM. Spatial and temporal analysis of the microbial community in slow sand filters used for treating horticultural irrigation water. *Applied and Environmental Microbiology*, 2003, 69(4): 2116–2125
- [7] Lynch JM, Whipps JM. Substrate flow in the rhizosphere. *Plant Soil*, 1990, 129(1): 1–10
- [8] Miethling R, Wieland G, Backhaus H, Tebbe CC. Variation of microbial rhizosphere communities in response to crop species, soil origin, and inoculation with *Sinorhizobium meliloti* L33. *Microbial Ecology*, 2000, 40(1): 43–56
- [9] Girvan MS, Bullimore J, Pretty JN, Osborn AM, Ball AS. Soil type is the primary determinant of the composition of the total and active bacterial communities in arable soils. *Applied and Environmental Microbiology*, 2003, 69(3): 1800–1809
- [10] Nunan N, Daniell TJ, Singh BK, Papert A, McNicol JW, Prosser JI. Links between plant and rhizoplane bacterial communities in grassland soils, characterized using molecular techniques. *Applied and Environmental Microbiology*, 2005, 71(11): 6784–6792
- [11] de Ridder-Duine AS, Kowalchuk GA, Gunnewiek PJAK, Smant W, van Veen JA, de Boer W. Rhizosphere bacterial community composition in natural stands of *Carex arenaria* (sand sedge) is determined by bulk soil community composition. *Soil Biology & Biochemistry*, 2005, 37(2): 349–357
- [12] Sun HY, Deng SP, Raun WR. Bacterial community structure and diversity in a century-old manure-treated agroecosystem. *Applied and Environmental Microbiology*, 2004, 70(10): 5868–5874
- [13] 姚占芳, 吴云汉. 微生物学实验技术. 北京: 气象出版社, 1998: 50–56
- [14] Joergensen RG, Mueller T. The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: Calibration of the calibration of the kEN value. *Soil Biology & Biochemistry*, 1996, 28(1): 3–37
- [15] Vane ED, Brookes PC, Jenkinson DS. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology & Biochemistry*, 1987, 19(6): 703–770
- [16] 湛方栋, 陆引罡, 关国经, 唐远驹, 张永春, 黄建国. 烤烟根际微生物群落结构及其动态变化的研究. *土壤学报*, 2005, 42(3): 488–494
- [17] 刘卫群, 姜占省, 郭红祥, 刘建利. 黄褐土、潮土中不同氮素形态配比对烤烟根际土壤微生物数量的影响. *土壤通报*, 2004, 35(1): 43–47
- [18] 刘训理, 王超, 吴凡, 薛东红, 陈凯. 烟草根际微生物研究. *生态学报*, 2006, 26(2): 552–557
- [19] 李秀英, 赵秉强, 李絮花, 李燕婷, 孙瑞莲, 朱鲁生, 徐晶, 王丽霞, 李小平, 张夫道. 不同施肥制度对土壤微生物的影响及其与土壤肥力的关系. *中国农业科学*, 2005, 38(8): 1591–1599
- [20] Atlas RM, Bartha R. *Microbial Ecology*. 2nd ed. Reading, MA: The Benjamin Cummings Publishing Co., Inc., 1987: 306–310
- [21] Smith JL, Paul EA. The significance of soil microbial biomass estimations. *Soil Biochemistry*, Vol 6. New York: Marcel Dekker, 1990: 357–396
- [22] 张海燕, 肖延华, 张旭东, 李军, 席联敏. 土壤微生物量作为土壤肥力指标的探讨. *土壤通报*, 2006, 37(3): 422–425
- [23] Donald RZ, Tilman D, Parmenter RR, Rice CW, Fisher FM, Vose J, Milchunas D, Martin CW. Plant production and soil microorganisms in late-successional ecosystems: A continental-scale study. *Ecology*, 1994, 75(8): 2333–2347
- [24] Mader P, Fliebach A, Dubois D, Gunst L, Fried P, Niggli U. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*, 2002, 296 (5573): 1694–1697
- [25] Haynes RJ, Tregurtha R. Effects of increasing periods under intensive arable vegetable production on biological, chemical and physical indices of soil quality. *Biology and Fertility of Soils*, 1999, 28(3): 259–266
- [26] 张林, 祖朝龙, 徐经年, 刘碧荣, 唐圣华. 品种与土壤类型互作对烤烟主要性状和品质的影响. *安徽农业科学*, 2008, 36(9): 3725–372
- [27] 郭兰萍, 黄璐琦, 阎洪, 吕冬梅, 蒋有绪. 基于地理信息系统的苍术道地药材气候生态特征研究. *中国中药杂志*, 2005, 30 (8): 565–568
- [28] 朱梅年, 曹素元, 柴立, 袁允桂, 任永全, 张之申, 曾振兴, 江维克, 闻家政. 名贵地道药材的生物地球化学特征及微量元素研究. *微量元素*, 1990(3): 35–41
- [29] 黄璐琦, 张瑞贤. "道地药材"的生物学探讨. *中国药学杂志*, 1997, 32(9): 563–566
- [30] 胡树林, 徐庆国, 黄启凤. 香米品质与微量元素含量特征关系的研究. *作物研究*, 2001, 15(4): 12–15
- [31] Pankhurst CE, Hawke BG, McDonald HJ, Kirkby CA, Buckerfield JC, Michelsen P, O'Brien KA, Gupta VVSR, Doube BM. Evaluation of soil biological properties as potential bioindicators of soil health. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 1995, 35(7): 1015–1028

Relationship of Burnt-Sweet Smelling Characteristics Formation of Flue-Cured Tobacco Leaves in South Anhui Province to Rhizosphere Microorganisms

QIU Li-you¹, ZU Chao-long², YANG Chao³, MA Cheng-xin², LIU Guo-shun³

(1 College of Life Sciences, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 2 Anhui Wannan Tobacco Leaf Co. Ltd, Xuancheng, Anhui 242000, China; 3 National Tobacco Cultivation and Physiology and Biochemistry Research Center, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Flue-cured tobacco leaves with special burnt-sweet smelling in Zimbabwe were important cigarette industrial material. It was detected that there was burnt-sweet smelling of flue-cured tobacco leaves in south Anhui Province similar to that of Zimbabwe's in 2003. However, the forming mechanism of burnt-sweet smelling was still unknown. This paper was to explore the relationship between burnt-sweet smelling formation of flue-cured tobacco leaves in south Anhui Province and rhizosphere microorganisms. 19 soils including 7 soil types and planted 4 flue-cured tobacco variety were sampled from south Anhui Province during 2006–2007. The rhizosphere microorganism number and microbial biomass C (MBC) were analyzed in flue-cured tobacco different growth stages, i.e., rosette stage, vigorous growing stage, maturing stage and harvesting stage. The flue-cured tobacco planted in 4 representative soil types, i.e., alluvial power sandy soil, sandy loam soil in river flat, alluvial sandy loam soil and rice soil from 19 soil samples, and rhizosphere MBC of flue-cured tobacco planted in the other 15 soils from 19 soil samples were detected. The number of flue-cured tobacco rhizosphere microorganisms at rosette stage was lowest, while at vigorous growing stage was highest during tobacco growth period planted in 4 representative soil types, and subsequently it was gradually decrease in maturing and harvesting stages. Rhizosphere MBC was lowest at rosette stage but higher at vigorous growing and maturing stages of tobacco planted in 4 representative soil types, similar to the number of rhizosphere microorganisms. Rhizosphere MBC at vigorous growing stage of tobacco planted in 19 soils showed a positive linear relationship with soil organic matter and alkali hydrolyzation N significantly ($p < 0.01$). According with the relationship, 19 soils could be divided into 3 groups, which was group I with low MBC and fertility, group II with medium MBC and fertility, group III with high MBC and fertility respectively. Flue-cured tobacco leaves with obvious burnt-sweet smelling mainly produced in 350–380 mg/kg (dry soil) of the soils belong to group II. Results indicate that rhizosphere MBC of flue-cured tobacco at vigorous growing stage was independent of tobacco variety, but only correlated with soil quality. Burnt-sweet smelling formation of flue-cured tobacco leaves related closely to rhizosphere MBC.

Key words: Flue-cured tobacco, Burnt-sweet smelling characteristics, Rhizosphere microorganisms, Microbial biomass