

# 植烟土壤肥力因子与根际微生物数量的相关性

张 腾<sup>1,2</sup>, 叶协峰<sup>1</sup>, 叶贤文<sup>3</sup>, 周 琳<sup>1</sup>, 周 童<sup>4</sup>, 卢 迪<sup>1</sup>, 李佳颖<sup>1</sup>, 于建军<sup>1</sup>

(1 河南农业大学 烟草学院, 国家烟草栽培生理生化研究基地, 河南 郑州 450002;

2 上海烟草集团天津卷烟厂, 天津 300163; 3 云南省烟草公司昆明市安宁分公司,  
云南 昆明 650300; 4 湖南省衡南县烟草专卖局, 湖南 衡阳 421001)

**摘要:**检测了四川省凉山州会理烟区土壤肥力及根际微生物数量,研究了两者之间的相关关系.利用多因子及互作项逐步回归方法得到肥力因子与微生物数量的回归方程.偏相关和通径分析结果表明:在烟草的团棵期,碱解氮与速效钾的正互作效应以及有效磷与pH的正互作效应与细菌数量呈正相关;旺长期,细菌数量与pH无显著相关性,与碱解氮、有效磷、速效钾、有机质的含量均呈显著相关;成熟期,碱解氮与细菌数量呈显著正相关.团棵期,有效磷与pH的正互作效应以及有机质与pH的正互作效应与真菌含量呈正相关;成熟期,碱解氮与真菌含量呈显著正相关性.不同时期的放线菌含量与有机质、pH以及有效磷具有相关性.说明在烟草的不同生长期,各种微生物数量与肥力因子的关系各不相同;同一生长期,不同种微生物量与肥力因子的关系也有很大差异.

**关键词:**会理烟区; 土壤肥力因子; 根际微生物; 相关性多因子回归分析

中图分类号:S572

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2013)03-0330-06

## Correlations Between Tobacco Soil Fertility Factors and Microbial Biomass in Rhizospheric Soil

ZHANG Teng<sup>1,2</sup>, YE Xiefeng<sup>1</sup>, YE Xianwen<sup>3</sup>, ZHOU Lin<sup>1</sup>, ZHOU Tong<sup>4</sup>, LU Di<sup>1</sup>, LI Jiaying<sup>1</sup>, YU Jianjun<sup>1</sup>

(1 College of Tobacco, Henan Agricultural University/National Tobacco Cultivation & Physiology & Biochemistry Research Center, Zhengzhou 450002, China; 2 Tianjin Cigarette Factory China Tobacco Shanghai Industry, Tianjin 300163, China;

3 Anning Branch of Kunming Tobacco Corporation of Yunnan Province, Kunming 650300, China;

4 Hengnan County Tobacco Corporation of Hunan Province, Hengyang 421001, China)

**Abstract:** The quantitative correlations between the soil fertility factors and microbial biomass were studied by the analysis of the soil fertility and microbial biomass contents collected from Huili tobacco growing areas of Sichuan Province. Polyfactorial regression analysis showed that different kinds of soil fertility factors could affect the contents of different kinds of microbial biomass. There were no significant correlation between pH and the content of bacteria in vigorous period, but the other four soil fertility factors were correlated with it. The available nitrogen was positively correlated with the content of bacteria in maturity period. Partial correlation and path analysis suggested that the interaction effects of available phosphorus and pH were positively correlated with the content of fungi in group pieces, also the significant effects of organic matter and pH were discovered. There were obvious interaction effects of available nitrogen and fungi in maturity period. The results also showed that actinomycetes had a correlation with available phosphorus, organic matter and pH in three different periods, and the relationship between soil fertility factors and microbial biomass was different.

**Key words:** Huili tobacco growing area; soil fertility factors; microbial biomass in rhizospheric soil; relationship polyfactorial regression analysis

土壤肥力是指土壤为植物生长提供养分、水分以及优良环境条件的能力,氮、磷、钾是影响烟株生长和发育及烟叶质量的重要元素<sup>[1]</sup>。土壤根际微生物是指生活在土壤里的细菌、真菌、放线菌,它们对土壤肥力的形成以及烟叶的营养转化有积极的作用。植烟土壤微生物的种类和数量在烟草生长的不同时期有着不同的变化,这一定程度上反映了土壤有机质矿化的速度以及土壤各种养分存在的状态,也直接影响了土壤的供肥状况<sup>[2]</sup>。微生物对土壤结构,尤其是团聚体的形成及其稳定性也有决定性的作用<sup>[3]</sup>;另一方面,土壤微生物的数量,也在一定程度上影响着烟叶的品质,沈中泉等<sup>[4]</sup>、刘卫群等<sup>[5]</sup>、彭智良等<sup>[6]</sup>指出:植烟土壤微生物的增加会突出烤烟叶的化学品质,并增加烤后烟叶的总糖、还原糖以及总氮量,降低淀粉、氯离子和烟碱的含量,改善氮碱比和糖碱比,提高钾氯比,使烤后烟叶的化学品质得到提高。

本文对烟草生长同一时期各土壤微生物及不同时期各微生物量与土壤肥力因子的关系进行分析,旨在用肥力因子评价土壤微生物量,为土壤肥力维持、供肥以及土壤改良提供一定理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

2011年于四川省凉山州会理县通安镇、黎溪镇、红旗镇、太平镇、益门镇各设1个在地形地貌、气候、海拔、土壤等方面具有代表性的试验点,于烟草团棵期、旺长期、成熟期分别采集大田土样及烟株根际土样。大田土样用5点式采集法取试验地耕作层0~20 cm土壤样品,上下土体一致,数量一致,多点混合,4分法选取土壤样品;根际土样的采集将烟株根系用铁铲挖出,用小刀将距根2 mm以上的土壤轻轻剥离,抖落其余

土壤作为根际土收集,并用小毛刷将不能抖落的沾附在根上的土轻轻刷下,过筛除根一并收集。

### 1.2 测定指标及方法

1.2.1 土壤肥力测定 大田土壤样品测定内容包括:碱解氮、有效磷、速效钾、有机质、pH和土壤养分。按照鲍士旦<sup>[7]</sup>的方法测定。

1.2.2 根际微生物测定 根际土壤样品用牛肉膏蛋白胨培养基、马丁氏培养基和高氏一号培养基培养,以平皿培养-群落计数法<sup>[8-10]</sup>测定不同时期的根际土细菌、真菌、放线菌的数量。

### 1.3 数据分析与处理

利用统计软件 DPS v 7.05 版,以土壤肥力为自变量( $X_i$ ),包括碱解氮( $X_1$ )、有效磷( $X_2$ )、速效钾( $X_3$ )、有机质( $X_4$ )和 pH( $X_5$ ),微生物量为因变量( $Y_i$ ),包括团棵期细菌( $Y_1$ )、团棵期真菌( $Y_2$ )、团棵期放线菌( $Y_3$ )、旺长期细菌( $Y_4$ )、旺长期真菌( $Y_5$ )、旺长期放线菌( $Y_6$ )、成熟期细菌( $Y_7$ )、成熟期真菌( $Y_8$ )和成熟期放线菌( $Y_9$ ),进行逐步回归分析、偏相关分析和通径分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 肥力因子与根际微生物的测定结果

由表1可以看出,各主要指标的变异系数差异显著,表现不稳定。其中有效磷、真菌的变异系数偏大,各指标的变异程度表现出有效磷>真菌>碱解氮=速效钾>细菌>有机质=放线菌>pH的趋势。由偏度系数和峰度系数可以看出,有效磷、真菌为右偏态峰,其余各指标均为左偏态峰,有效磷、pH的偏度系数绝对值较大。碱解氮、有效磷、pH、真菌的峰度系数大于0,为尖峭峰,数据分布较集中;速效钾、有机质、细菌、放线菌的峰度系数小于0,为平阔峰,数据比较分散。

表1 肥力因子与根际微生物的测定结果统计

Tab. 1 Statistics analysis measure results of the contents of medium and micro elements between fertility factors and microbial biomass

指标	变异系数/%	偏度/%	峰度/%	指标	变异系数/%	偏度/%	峰度/%
碱解氮	18.75	-0.29	0.18	细菌	16.42	-0.40	-0.62
有效磷	20.58	1.55	1.62	真菌	19.62	0.97	0.07
速效钾	18.75	-0.45	-0.49	放线菌	15.00	-1.13	-0.16
有机质	15.00	-0.96	-0.10	pH	13.56	-1.48	0.40

## 2.2 团棵期烟草根际土微生物数量与肥力因子的关系

2.2.1 团棵期烟草根际土微生物数量与肥力因子的多因子及互作项逐步回归分析 对团棵期烟草根际土微生物数量与肥力因子进行多因子及互作项逐步回归分析,建立肥力因子与土壤根际微生物模型(模型1~3),其中模型1决定系数为0.9999,剩余通径系数为0.0043,模型2决定系数为1.0000,剩余通径系数为0.0019,模型3决定系数为0.8567,剩余通径系数为0.3786,3模型均达到较高的精确水平.

$$Y_1 = -5.9282 - 0.6514X_2 + 0.0003X_1X_3 + 0.1152X_2X_5 (R = 0.9999^{**}). \quad (1)$$

模型1表明,  $X_2$  与  $Y_1$  呈负相关,  $X_1$  与  $X_3$ 、 $X_2$  与  $X_5$  之间的互作效应与  $Y_1$  呈正相关.

$$Y_2 = -16.7515 - 0.1798X_4 + 0.0168X_2X_5 + 0.1056X_4X_5 (R = 1.0000^{**}). \quad (2)$$

模型2表明,  $X_4$  与  $Y_2$  呈负相关,  $X_2$  与  $X_5$ 、 $X_4$  与  $X_5$  之间的互作效应与  $Y_2$  呈正相关.

$$Y_3 = 4.1118 + 0.0131X_2X_4 (R = 0.8567^{**}). \quad (3)$$

模型3表明,  $X_2$  与  $X_4$  之间的互作效应与  $Y_3$  呈正相关.

2.2.2 团棵期烟草根际土微生物含量与肥力因子的偏相关分析 由表2可知,细菌与矿质元素的偏相关分析:有效磷( $X_2$ )与团棵期细菌( $Y_1$ )的偏相关系数系数为-0.9996,碱解氮( $X_1$ )与速效钾( $X_3$ )互作效应偏相关系数为1.0000,有效磷( $X_2$ )与pH( $X_5$ )互作效应偏相关系数为0.9997,均达到极显著水平;真菌数量与矿质元素的偏相关系数分析:有机质( $X_4$ )与团棵期真菌( $Y_2$ )的偏相关系数为-1,有效

磷( $X_2$ )与pH( $X_5$ )互作效应偏相关系数为1,有机质( $X_4$ )与pH( $X_5$ )互作效应偏相关系数为1,均达到极显著水平;放线菌数量与矿质元素的偏相关系数分析,有效磷( $X_2$ )与有机质( $X_4$ )互作效应偏相关系数为0.9256,达到显著水平.

2.2.3 团棵期烟草根际土微生物含量与肥力因子的通径分析 由表3可知,细菌数量与矿质元素的直接通径系数:  $X_2$  (-4.3301)、 $X_1X_3$  (1.1920)、 $X_2X_5$  (4.7311),说明有效磷( $X_2$ )对细菌数量的直接作用是负面的效应,碱解氮( $X_1$ )与速效钾( $X_3$ )、有效磷( $X_2$ )与pH( $X_5$ )互作效应对细菌数量的直接作用是正面的效应.而间接作用:  $X_2$  主要通过  $X_1X_3$  (0.1970)、 $X_2X_5$  (4.7126)间接正效应表达;  $X_1X_3$  主要通过  $X_2$  (-0.7157)的间接负效应以及  $X_2X_5$  (0.4043)间接正效应综合表达,  $X_2X_5$  主要通过  $X_2$  (-4.3132)的间接负效应以及  $X_1X_3$  (0.1019)间接正效应综合表达.

真菌数量与矿质元素的直接通径系数:  $X_4$  (-0.6784)、 $X_2X_5$  (2.0656)、 $X_4X_5$  (2.0064),说明有机质( $X_4$ )对真菌数量的直接作用是负面的效应,有效磷( $X_2$ )与pH( $X_5$ )、有机质( $X_4$ )与pH( $X_5$ )互作效应对真菌数量的直接作用是正面的效应.而间接作用:  $X_4$  主要通过  $X_4X_5$  (1.7833)间接正效应以及  $X_2X_5$  (-1.4191)间接负效应综合表达,  $X_2X_5$  主要通过  $X_4$  (0.4661)的间接正效应与  $X_4X_5$  (-1.7570)的间接负效应综合表达,  $X_4X_5$  主要通过  $X_4$  (-0.6030)、 $X_2X_5$  (-1.8089)间接负效应综合表达.

放线菌数量与矿质元素的直接通径系数:  $X_2X_4$  (0.9256),说明有效磷( $X_2$ )与有机质( $X_4$ )互作效应对放线菌的数量起直接的正面效应.

## 2.3 旺长期烟草根际土微生物数量与肥力因子的关系

对旺长期烟草根际土微生物数量与肥力因子进行多因子及互作项逐步回归分析,建立肥力因子与土壤根际微生物模型(模型4~6),其中模型4决定系数为0.7983,剩余通径系数为0.4492,模型5决定系数为0.9994,剩余通径系数为0.0247,模型6决定系数为0.9632,剩余通径系数为0.1921,3模型均达到较高的精确水平.

$$Y_4 = -12.8887 + 0.0226X_1X_2 (R = 0.7983^{**}). \quad (4)$$

模型4表明,  $X_1$  与  $X_2$  之间的互作效应与  $Y_4$  呈正相关.

$$Y_5 = 1.064.8737 + 0.6284X_1X_2 + 0.0602X_2X_3 - 5.2822X_2X_4 (R = 0.9994^{**}). \quad (5)$$

表2 团棵期烟草根际土微生物含量与肥力因子的偏相关分析

Tab. 2 Partial correlation coefficients of the contents of medium and micro elements between fertility factors and microbial biomass in group pieces

微生物	因子 <sup>1)</sup>	r	t	P
细菌	$Y_1, X_2$	-0.9996	37.1463	0.0007
	$Y_1, X_1X_3$	1.0000	115.1209	0.0001
	$Y_1, X_2X_5$	0.9997	41.0017	0.0006
真菌	$Y_2, X_4$	-1.0000	152.1907	0.0001
	$Y_2, X_2X_5$	1.0000	488.3039	0.0001
	$Y_2, X_4X_5$	1.0000	299.1096	0.0001
放线菌	$Y_3, X_2X_4$	0.9256	4.2343	0.0133

1)  $X_1$ : 碱解氮;  $X_2$ : 有效磷;  $X_3$ : 速效钾;  $X_4$ : 有机质;  $X_5$ : pH;  $Y_1$ : 团棵期细菌;  $Y_2$ : 团棵期真菌;  $Y_3$ : 团棵期放线菌.

模型5表明,  $X_2$  与  $X_4$  之间的互作效应与  $Y_5$  呈负相关,  $X_1$  与  $X_2$ 、 $X_2$  与  $X_3$  之间的互作效应与  $Y_5$  呈正相关。

$$Y_6 = -5.2666 + 0.0296X_2X_4 + 0.0610X_2X_5 (R = 0.9632^{**}). \quad (6)$$

模型6表明,  $X_2$  与  $X_4$ 、 $X_2$  与  $X_5$  之间的互作效应与  $Y_6$  呈正相关。

由表4可知, 细菌与矿质元素的偏相关分析: 碱解氮( $X_1$ )与有效磷( $X_2$ )互作效应偏相关系数为

0.8935, 达到极显著水平; 真菌数量与矿质元素的偏相关系数分析: 碱解氮( $X_1$ )与有效磷( $X_2$ )的互作效应偏相关系数为0.9996, 有效磷( $X_2$ )与速效钾( $X_3$ )互作效应偏相关系数为0.9986, 有效磷( $X_2$ )与有机质( $X_4$ )互作效应偏相关系数为-0.9994, 均达到极显著水平; 放线菌数量与矿质元素的偏相关系数分析: 有效磷( $X_2$ )与有机质( $X_4$ )互作效应偏相关系数为0.8713, 有效磷( $X_2$ )与pH( $X_5$ )互作效应偏相关系数为0.9024, 均达到显著水平。

表3 团棵期烟草根际土微生物含量与肥力因子的通径分析<sup>1)</sup>

Tab.3 Path analysis between the content of fertility factors and the contents of microbial biomass in group pieces

因子	细菌			因子	真菌			因子	放线菌	
	直接影响力	$\rightarrow X_2$	$\rightarrow X_1X_3$		直接影响力	$\rightarrow X_4$	$\rightarrow X_2X_5$		直接影响力	$\rightarrow X_2X_4$
$X_2$	-4.3301		0.1970	4.7126	$X_4$	-0.6784		-1.4191	1.7833	$X_2X_4$
$X_1X_3$	1.1920	-0.7157		0.4043	$X_2X_5$	2.0656	0.4661		-1.7570	
$X_2X_5$	4.7311	-4.3132	0.1019		$X_4X_5$	2.0064	-0.6030	-1.8089		

1)  $X_1$ : 碱解氮;  $X_2$ : 有效磷;  $X_3$ : 速效钾;  $X_4$ : 有机质;  $X_5$ : pH.

表4 旺长期烟草根际土微生物含量与肥力因子的偏相关分析

Tab.4 Partial correlation coefficients of the contents of medium and micro elements between fertility factors and microbial biomass in vigorous period

微生物	因子 <sup>1)</sup>	r	t	P
细菌	$Y_4, X_1X_2$	0.8935	3.4454	0.0262
真菌	$Y_5, X_1X_2$	0.9996	34.8630	0.0008
	$Y_5, X_2X_3$	0.9986	18.6361	0.0029
	$Y_5, X_2X_4$	-0.9994	29.3303	0.0012
放线菌	$Y_6, X_2X_4$	0.8713	2.5110	0.0869
	$Y_6, X_2X_5$	0.9024	2.9612	0.0595

1)  $X_1$ : 碱解氮;  $X_2$ : 有效磷;  $X_3$ : 速效钾;  $X_4$ : 有机质;  $X_5$ : pH;  $Y_4$ : 旺长期细菌;  $Y_5$ : 旺长期真菌;  $Y_6$ : 旺长期放线菌。

由表5可知, 细菌数量与矿质元素的直接通径系数:  $X_1X_2$  (0.8935), 说明碱解氮( $X_1$ )与有效磷( $X_2$ )互作效应对细菌数量的直接作用是正面的。

真菌数量与矿质元素的直接通径系数:  $X_1X_2$  (2.7074)、 $X_2X_3$  (0.7970)、 $X_2X_4$  (-2.7247), 说明有效磷( $X_2$ )与有机质( $X_4$ )的互作效应对真菌数量的直接作用是负面的, 碱解氮( $X_1$ )与有效磷( $X_2$ )、有效磷( $X_2$ )与速效钾( $X_3$ )互作效应对真菌数量的直接作用是正面的。在间接作用系数中:  $X_1X_2$  主要通过  $X_2X_3$  (0.5487) 间接正效应以及  $X_2X_4$  (-2.5684) 间接负效应综合表达,  $X_2X_3$  主要通过  $X_1X_2$  (1.8640) 的间接正效应与  $X_2X_4$  (-2.1668) 的间接负效应综合表达,  $X_2X_4$  主要通过  $X_1X_2$  (2.5521)、 $X_2X_3$  (0.6338) 间接正效应表达。

表5 旺长期烟草根际土微生物含量与肥力因子的通径分析<sup>1)</sup>

Tab.5 Path analysis between the content of fertility factors and the contents of microbial biomass in vigorous period

因子	细菌		因子	真菌			因子	放线菌	
	直接影响力	$\rightarrow X_1X_2$		直接影响力	$\rightarrow X_1X_2$	$\rightarrow X_2X_3$		直接影响力	$\rightarrow X_2X_4$
$X_1X_2$	0.8935		$X_1X_2$	2.7074		0.5487	-2.5684	$X_2X_4$	0.4863
			$X_2X_3$	0.7970	1.8640		-2.1668	$X_2X_5$	0.5735
			$X_2X_4$	-2.7247	2.5521	0.6338			0.3467

1)  $X_1$ : 碱解氮;  $X_2$ : 有效磷;  $X_3$ : 速效钾;  $X_4$ : 有机质;  $X_5$ : pH.

放线菌数量与矿质元素的直接通径系数:  $X_2X_4$  (0.4863)、 $X_2X_5$  (0.5735), 说明有效磷( $X_2$ )与有机质( $X_4$ )、有效磷( $X_2$ )与pH( $X_5$ )的互作效应对放线菌的数量起直接的正面效应。在间接作用系数中,  $X_2X_4$  主要通过  $X_2X_5$  (0.4089) 间接正效应表达,

$X_2X_5$  主要通过  $X_2X_4$  (0.3467) 间接正效应表达。

## 2.4 成熟期烟草根际土微生物数量与肥力因子的关系

对成熟期烟草根际土微生物数量与肥力因子进行多因子及互作项逐步回归分析, 建立肥力因子与

土壤根际微生物模型(模型7~9),其中模型7决定系数为0.9999,剩余通径系数为0.0094,模型8决定系数为0.9997,剩余通径系数为0.0183,模型9决定系数为0.7606,剩余通径系数为0.4893,7、8模型均达到较高的精确水平。

$$Y_7 = 13.4812 + 0.0859X_1 - 0.0049X_1X_5 - 0.0493X_4X_5 (R = 0.9999^{**}). \quad (7)$$

模型7表明,  $X_1$  与  $Y_7$  呈正相关,  $X_1$  与  $X_5$ 、 $X_4$  与  $X_5$  之间的互作效应与  $Y_7$  呈负相关。

$$Y_8 = 31.5286 + 0.6376X_1 - 0.0057X_1X_4 - 0.2424X_4X_5 (R = 0.9997^{**}). \quad (8)$$

模型8表明,  $X_1$  与  $Y_8$  呈正相关,  $X_1$  与  $X_4$ 、 $X_4$  与  $X_5$  之间的互作效应与  $Y_8$  呈负相关。

$$Y_9 = 27.8967 - 3.2439X_5 (R = 0.7606^{**}). \quad (9)$$

模型9表明,  $X_5$  与  $Y_9$  呈负相关。

由表6可知, 细菌与矿质元素的偏相关分析: 碱解氮( $X_1$ )与成熟期细菌( $Y_7$ )的偏相关系数为0.9993, 碱解氮( $X_1$ )与pH( $X_5$ )互作效应偏相关系数为-0.9942, 有机质( $X_4$ )与pH( $X_5$ )互作效应偏

表6 成熟期烟草根际土微生物含量与肥力因子的偏相关分析

Tab. 6 Partial correlation coefficients of the contents of medium and micro elements between fertility factors and microbial biomass in maturity period

微生物	因子 <sup>1)</sup>	r	t	P
细菌	$Y_7, X_1$	0.9993	27.1588	-0.9999
	$Y_7, X_1X_5$	-0.9942	9.2231	91.8938
	$Y_7, X_4X_5$	-0.9999	91.8938	0.0001
真菌	$Y_8, X_1$	0.9978	15.1075	0.0044
	$Y_8, X_1X_4$	-0.9930	8.3904	0.0139
	$Y_8, X_4X_5$	-0.9976	14.5432	0.0047
放线菌	$Y_9, X_5$	-0.8721	3.0868	0.0367

1)  $X_1$ : 碱解氮;  $X_2$ : 有效磷;  $X_3$ : 速效钾;  $X_4$ : 有机质;  $X_5$ : pH;  $Y_7$ : 成熟期细菌;  $Y_8$ : 成熟期真菌;  $Y_9$ : 成熟期放线菌。

表7 旺长期烟草根际土微生物含量与肥力因子的通径分析<sup>1)</sup>

Tab. 7 Path analysis between the content of fertility factors and the contents of microbial biomass in maturity period

因子	细菌			因子	真菌			因子	放线菌		
	直接影响力	$\rightarrow X_1$	$\rightarrow X_1X_5$		直接影响力	$\rightarrow X_1$	$\rightarrow X_1X_4$	$\rightarrow X_4X_5$	$\rightarrow X_5$	$\rightarrow X_1X_4$	
$X_1$	1.9517		-0.7012	-1.4218	$X_1$	1.7953		-1.4004	-0.8660	$X_5$	-0.8721
$X_1X_5$	-0.7076	1.9341		-1.4597	$X_1X_4$	-1.4391	1.7470		-0.9601		
$X_4X_5$	-1.7063	1.6263	-0.6053		$X_4X_5$	-1.0393	1.4959	-1.3293			

1)  $X_1$ : 碱解氮;  $X_2$ : 有效磷;  $X_3$ : 速效钾;  $X_4$ : 有机质;  $X_5$ : pH。

### 3 讨论与结论

(1) 采用多元线性逐步回归分析得到土壤肥力因子与土壤微生物数量的回归方程, 经显著性检测

相关系数为-0.9999, 均达到极显著水平; 真菌数量与矿质元素的偏相关系数分析: 碱解氮( $X_1$ )与成熟期真菌( $Y_8$ )的偏相关系数为0.9978, 碱解氮( $X_1$ )与有机质( $X_4$ )互作效应偏相关系数为-0.9930, 有机质( $X_4$ )与pH( $X_5$ )互作效应偏相关系数为-0.9976, 均达到极显著水平; 放线菌数量与矿质元素的偏相关系数分析, pH( $X_5$ )与成熟期放线菌( $Y_9$ )的偏相关系数为-0.8721。

由表7可知, 细菌数量与矿质元素的直接通径系数:  $X_1$  (1.9517)、 $X_1X_5$  (-0.7076)、 $X_4X_5$  (-1.7063), 说明碱解氮( $X_1$ )对细菌数量的直接作用是正面的效应, 碱解氮( $X_1$ )与pH( $X_5$ )、有机质( $X_4$ )与pH( $X_5$ )互作效应对细菌数量的直接作用是负面的。而间接作用: 碱解氮( $X_1$ )主要通过  $X_1X_5$  (-0.7012)、 $X_4X_5$  (-1.4218)间接负效应;  $X_1X_5$  主要通过  $X_1$  (1.9341)的间接正效应以及  $X_4X_5$  (-1.4597)间接负效应综合表达,  $X_4X_5$  主要通过碱解氮( $X_1$ ) (1.6263)间接正效应以及  $X_1X_5$  (-0.6053)间接负效应综合表达。

真菌数量与矿质元素的直接通径系数:  $X_1$  (1.7953)、 $X_1X_4$  (-1.4391)、 $X_4X_5$  (-1.0393), 说明  $X_1$  对真菌数量的直接作用是正面的效应, 碱解氮( $X_1$ )与有机质( $X_4$ )、有机质( $X_4$ )与pH( $X_5$ )互作效应对真菌数量的直接作用是负面的。在间接作用系数中: 碱解氮( $X_1$ )主要通过  $X_1X_4$  (-1.4004)以及  $X_4X_5$  (-0.8660)间接负效应表达,  $X_1X_4$  主要通过  $X_1$  (1.7470)的间接正效应和  $X_4X_5$  (-0.9601)间接负效应综合表达,  $X_4X_5$  主要通过  $X_1$  (1.4959)的间接正效应与  $X_1X_4$  (-1.3293)的间接负效应综合表达。

放线菌数量与矿质元素的直接通径系数是  $X_5$  (-0.8721), 说明 pH( $X_5$ )对放线菌数量的直接作用是负面的。

均达到极显著水平, 为预测不同时期土壤微生物数量提供了一定的参考依据。利用同样的方法也可以探索土壤肥力因子与土壤物理性状、酶活性等的预测方程, 为烤烟生产平衡施肥提供理论依据。通过比

较不同时期土壤肥力因子与土壤微生物数量的回归方程,可把团棵期作为预测和调控土壤微生物数量的最关键时期。

(2) 通过土壤肥力因子与土壤微生物数量之间的偏相关和通径分析证明:烟草团棵期,碱解氮与速效钾的正互作效应以及有效磷与pH的正互作效应都与细菌含量呈正相关。张明等<sup>[11]</sup>认为:施肥对土壤微生物群落生态生理功能不同,其中,K策略细菌数量与有效钾、速效钾和碱解氮呈显著正相关,与本研究的结果基本一致。烟草旺长期根际细菌数量与土壤pH无显著相关性,与碱解氮、有效磷、速效钾、有机质的含量均显著相关,这可能是由于细菌是土壤微生物中含量最多的菌群<sup>[12]</sup>,其在旺长期的生命活动较强,所以肥力因子在这一时期的相关性也较为复杂。成熟期碱解氮的含量与细菌数量呈显著的正相关,孟庆英<sup>[13]</sup>的最新研究指出其他作物的成熟期也呈上述结果。

团棵期的有效磷与pH的正互作效应以及有机质与pH的正互作效应与真菌含量呈正相关,这与韩桂云等<sup>[14]</sup>的研究结果基本一致,表明四川地区,土壤pH值处于酸性或偏酸性时,根际土中真菌含量适宜;有效磷与真菌含量呈极显著负相关,这与王海英等<sup>[12]</sup>的研究结果表现一致。旺长期土壤pH值与真菌含量无明显相关性,蔡彬等<sup>[15]</sup>的研究指出,不同条件下pH对土壤真菌含量的影响无直接关系,与本文研究结果基本一致,考虑烤烟旺长期根际微生物含量最多<sup>[16-19]</sup>,所以影响其含量的因素也成为3个不同时期最复杂的。另外,本研究发现在烤烟成熟期,碱解氮与真菌含量有明显的正相关性。

3个不同的时期,与放线菌有相关性的肥力因子只有有效磷、有机质以及pH。左清华等<sup>[20]</sup>研究指出:土壤pH对根际放线菌的数量影响较大,土壤有机质、氮、磷、钾等的含量对放线菌数量的影响并无确定的数量关系;葛荣盛<sup>[21]</sup>的研究阐述了有机质含量和pH是影响放线菌数量的主要生态因子;焦志华等<sup>[22]</sup>的研究表明,放线菌数量与有机质和有效磷显著相关,与本研究的结果基本一致。

(3) 土壤微生物的含量对烤烟品质具有至关重要的作用,而决定微生物数量的因素很多。本研究在忽略其他因素的基础上,探索了在一定范围内土壤肥力因子与土壤微生物数量的相关性,鉴于回归模型的局限性,有待于进一步的研究。

## 参考文献:

- [1] 刘国顺,烟草栽培学[M].北京:中国农业出版社,2003:142-144.
- [2] 杜秉海,李贻学,宋国菡,等.烟田土壤微生物区系分析[J].中国烟草,1996(2):30-32.
- [3] WORKNEH F, VAN BRUGGEN A H C. Microbial density, composition, and diversity in organically and conventionally managed rhizosphere soil in relation to suppression of corky root of tomatoes[J]. Appl Soil Ecol, 1994, 1(3):219-230.
- [4] 沈中泉,郭云桃,张在淳,等.有机无机肥料配合施用对烟叶品质的影响[J].烟草科技,1988(6):49-53.
- [5] 刘卫群,陈江华,刘建利.有机肥使用技术与烟叶品质关系[J].中国烟草学报,2003,9(增刊):9-18.
- [6] 彭智良,黄元炯,刘国顺.不同有机肥对烟田土壤微生物以及烟叶品质和产量的影响[J].中国烟草学报,2009,15(2):41-45.
- [7] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2005:29-91.
- [8] 吴金水,林启美,黄巧云,等.土壤微生物生物量测定方法及其应用[M].北京:气象出版社,2006:1-12.
- [9] 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,2008:49-70.
- [10] 郑有飞,石春红,吴芳芳,等.土壤微生物活性影响因子的研究发展[J].土壤通报,2009,40(5):1209-1214.
- [11] 张明,白震,张威.长期施肥对农田黑土r-K策略菌群的影响[J].生态学杂志,2007,26(11):1748-1754.
- [12] 王海英,宫渊波,龚伟.不同林分土壤微生物、酶活性与土壤肥力的关系研究综述[J].四川林勘设计,2005(3):9-14.
- [13] 孟庆英.施用根瘤菌对土壤微生物氮素类群数量及土壤氮素的影响[J].黑龙江农业科学,2012(4):55-57.
- [14] 韩桂云,齐玉臣,刘忱,等.温度、pH对菌根真菌生长影响的研究[J].生态学杂志,1993(1):15-19.
- [15] 蔡彬,姚青,王燕.低pH对AM真菌侵染三叶草根系的影响[J].华南农业大学学报,2008,29(3):33-36.
- [16] 蔡敏,谢莉,黄建国.氮源对外生菌根真菌生长及其氮磷钾含量的影响[J].贵州农业科学,2010,38(2):104-105.
- [17] NASHOLM T, EFBLAD A, NORDIN A, et al. Boreal forest plants take up organic nitrogen[J]. Nature, 1998, 392:914-916.
- [18] CHALOT M, BRUN A. Physiology of organic nitrogen acquisition by ectomycorrhizal fungi and ectomycorrhizas[J]. FEMS Microbiology Reviews, 1998, 22:21-44.
- [19] BAINARD L D, BAINARD J D. Mycorrhizal symbiosis stimulates endoreduplication in angiosperms[J]. Plant Cell Environ, 2011, 34(9):1577-1585.
- [20] 左华清,王子顺.柑桔根际土壤细菌和放线菌的特性[J].西南科技大学学报:哲学社会科学版,1990,7(4):1-5.
- [21] 葛荣盛.鼎湖山酸性土壤中放线菌数量与酸度的关系[J].生态环境,1993,2(2):110-112.
- [22] 焦志华,黄占斌,李勇.再生水灌溉对土壤性能和土壤微生物的影响研究[J].农业环境科学学报,2010,29(2):319-323.