

植物保护

烟草青枯病发病烟株根际土壤营养状况分析

郑世燕¹, 陈弟军², 丁伟¹, 杜根平¹, 刘永琴¹,
程小龙¹, 刘宪臣¹, 徐小洪³, 王溶³

1 西南大学植物保护学院, 重庆北碚区天生路2号 400716;

2 湖南中烟工业有限责任公司, 湖南省长沙市万家丽路188号 410014;

3 重庆市烟草公司黔江分公司, 重庆黔江区黔龙街269号 409000

摘要: 为探究烟株根际土壤营养状况与青枯病发生的关系, 摸清影响烟草青枯病发生最关键的土壤养分因子, 以从重庆市烟草青枯病发生十分典型的黔江植烟区采集的177份根际土壤样品为供试材料, 测定并采用t检验、因子分析、判别分析等方法分析了土壤pH、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、交换性钙和镁、有效铁、有效锰、有效铜、有效锌、有效硼、有效钼13项指标。结果表明: 土壤pH、有机质、速效钾、交换性钙、有效硼、有效钼含量偏低以及土壤碱解氮、交换性镁、有效锰含量偏高均有可能降低土壤的抑病效果, 导致青枯病严重发生; 烟草青枯病发病烟株根际土壤的钙镁比(4.04)明显低于健康烟株根际土壤的钙镁比(9.86); 因子分析结果显示, 土壤中低水平的有效钼、交换性钙可能是导致青枯病发生流行最主要的因子; 通过判别分析可知, 烟株根际土壤中速效钾、交换性钙、有效钼、有机质、有效硼5个成分的含量情况可能是判别青枯病发病与否的关键因子。

关键词: 烟草; 青枯病; 土壤养分; 矿质营养; 根际调控; 连作障碍

doi: 10.3969/j.issn.1004-5708.2014.04.012

中图分类号: S43 文献标志码: A 文章编号: 1004-5708 (2014) 04-0057-08

Nutritional status of rhizosphere soil around bacterial wilt diseased tobacco plant

ZHENG Shiyang¹, CHEN Dijun², DING Wei¹, DU Genping¹, LIU Yongqin¹, CHENG Xiaolong¹,
LIU Xianchen¹, XU Xiaohong³, WANG Rong³

1 College of Plant Protection, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2 China Tobacco Hunan Industrial Co., Ltd., Changsha 410014, China;

3 Chongqing Qianjiang Tobacco Company, Chongqing 409000, China

Abstract: 177 soil samples were collected and analyzed in order to study the relationship between nutritional status of tobacco rhizosphere soil and bacterial wilt. Results showed that lower levels of soil pH, organic matter, rapidly available potassium, convertible calcium, available boron and molybdenum, and higher levels of convertible magnesium and available manganese could weaken soil resistance to disease, resulting in serious bacterial wilt. The Ca/Mg value (4.04) of rhizosphere soil around tobacco plant with bacterial wilt disease was significantly lower than that of healthy ones (9.86). Factor analysis showed that lower levels of available molybdenum and exchangeable calcium in tobacco-growing soil were the overriding factors for bacterial wilt epidemic. Discriminant analysis showed that rapidly available potassium, convertible calcium, active molybdenum, organic matter and available boron in tobacco rhizosphere soil might be key factors to cause tobacco bacterial wilt.

Keywords: tobacco; bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*); soil nutrition; mineral nutrition; rhizosphere manipulation; continuous cropping obstacles

基金项目: 中国烟草总公司重点项目(110201202002); 中国烟草总公司重庆市公司重点项目(NY 20130501070005); 湖南中烟工业有限责任公司科技项目(2011130109)

作者简介: 郑世燕(1988—), 硕士研究生, 从事烟草有害生物系统控制, Tel: 023-68250218, Email: zsy641576717@163.com

通讯作者: 丁伟(1966—), 博士, 教授, 从事天然产物农药与烟草有害生物系统控制, Tel: 023-68250953, Email: dwing818@163.com

收稿日期: 2013-07-30

良好的土壤生态环境是农业健康、可持续发展的基础^[1]。土壤营养平衡是保证作物健康生长的前提条件,尤其是在部分连作障碍问题十分严重的植烟区,保证土壤的营养平衡是促进烟草抗病、抗逆性表达,有效控制土传病害发生流行,提高烟叶产量、品质的关键;土壤中任何一种营养的缺乏或过量都可能影响烟株的正常生长与发育,降低烟草的抗病、抗逆能力,影响烟叶的产质量^[1-3]。且已有大量研究表明^[4-10],目前我国西南植烟区土壤普遍存在的土壤板结、酸碱度不平衡、理化性状恶化、部分烟草生长必需矿质营养不足等连作障碍问题,以及青枯雷尔氏菌致病力、发病条件均日趋多样化可能是烟草青枯病愈发严重的主要原因。因此,保证土壤营养、微生态环境、酸碱度、有益微生物和有害微生物与烟草之间的平衡是控制土传病害发生流行的关键;明确与烟草青枯病发生最关键的土壤因子势在必行。然而,近年来,虽然关于植烟土壤有效成分、微量元素的含量情况、分布规律及影响因素的研究很多,但大多集中在地区间差异及单个元素指标的分析上,涉及土壤有效成分与青枯病发病情况关系的研究鲜见报道^[10-15]。加之,针对目前没有理想防控措施的茄科青枯病类土传病害,调节矿质营养是值得探讨的一条新途径^[16-18],且已有研究者将营养调控措施用于青枯病类土传病害的防控研究^[16, 19-33]。对此,本研究以重庆市黔江植烟区为例,对在不同种植单元采集的177份土壤样品进行主要成分测定与分析,旨在摸清烟株根际土壤营养与青枯病发生的关系,找准影响发病最关键的土壤营养因子,为从根际土壤调控或营养调控方面着手解决土传病害防控问题,尤其是烟草青枯病综合防控技术的集成,重庆特色山地烟的生态条件基础研究、土壤修复技术的进一步完善提供科学的依据。

1 材料与方法

1.1 土样采集与处理

根据土壤检测农业行业标准NY/T1121.1-2006《土壤样品的采集、处理和贮存》,用木制或塑料制品,于2012年10月(烤烟采收结束后),以重庆市黔江植烟区具有代表性的种植单元为采样地点,采集健康和青枯病发病烟株根际0~20 cm表土层的土壤,在

同一采样单元内每5个具有同样发病特征点的土样构成1个混合样品,采取四分法去掉多余的土壤,每个样品保留1 kg。风干后,剔除植物残体、虫体、石块等杂物,用木槌研磨后过60目尼龙筛,装入自封袋,4℃冰箱保存备用。土壤样品采集时间为烟叶采收结束后,同时避开雨季,使采样地块的物理性质不受影响。各样品采集点均采用GPS定位。共采集健康土壤样品78份,青枯病发病土壤样品99份。

1.2 测定内容与方法

土壤样品测定指标包括pH值、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、交换性钙和镁、有效铁、有效锰、有效铜、有效锌、有效硼、有效钼等13项。其测定方法分别为^[34]:电位法测定pH值;重铬酸钾容量法测定有机质;碱解扩散法测定碱解氮;碳酸氢钠法测定速效磷;火焰分光光度计法测速效钾;原子吸收分光光度法测定有效钙、镁、铁、锰、铜、锌;姜黄素比色法测定有效硼;硫氰酸铵比色法测定有效钼。

1.3 数据处理

所有土壤有效成分相关数据均采用Excel进行基本处理,然后采用SPSS16.0软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 烟草青枯病发病烟株根际土壤营养状况的差异性分析

重庆市黔江植烟区健康烟株根际土壤与青枯病发病烟株根际土壤的营养状况如表1所示,从表中数据可明显看出,健康土壤与发病土壤相比,pH、有机质、碱解氮、速效钾、交换性钙、交换性镁、有效锰、有效硼、有效钼等9个指标间差异极显著,其中健康土壤pH、有机质、速效钾、交换性钙、有效硼、有效钼等指标均比发病土壤高,碱解氮、有效镁、有效锰等指标均比发病土壤低;健康土壤与发病土壤中速效磷、有效铁、有效铜、有效锌等指标间无显著性差异。说明土壤pH、有机质、速效钾、交换性钙、有效硼、有效钼含量较高以及土壤碱解氮、有效镁、有效锰含量较低时可能更有利于植烟土壤的健康或抑病作用的发挥;土壤中速效磷、有效铁、有效铜、有效锌等指标的含量一般都比较丰富,可能与青枯病发生与否相关性不明显。

表 1 健康烟株根际土壤与青枯病发病烟株根际土壤的营养状况
 Tab. 1 Nutritional condition of rhizosphere soil around healthy and bacterial-wilt-disease tobacco

土壤指标	发病与否	有效含量	c.v.%	差异显著性
pH	否	6.30 ± 0.54	8.61	**
	是	5.08 ± 0.70	13.76	
有机质 OM/(g/kg)	否	25.82 ± 4.87	18.87	**
	是	16.80 ± 4.18	24.88	
N/(mg/kg)	否	62.69 ± 15.39	24.53	**
	是	78.77 ± 22.77	28.90	
P/(mg/kg)	否	54.74 ± 21.58	39.41	无
	是	52.65 ± 19.82	37.64	
K/(mg/kg)	否	289.51 ± 68.33	23.60	**
	是	142.85 ± 44.44	31.11	
Ca/(mg/kg)	否	2397.81 ± 751.21	31.33	**
	是	1353.77 ± 402.55	29.74	
Mg/(mg/kg)	否	243.12 ± 57.46	23.63	**
	是	335.61 ± 90.35	26.92	
Fe/(mg/kg)	否	64.05 ± 22.94	35.81	无
	是	76.00 ± 31.36	41.26	
Mn/(mg/kg)	否	30.56 ± 8.18	26.77	**
	是	48.70 ± 12.62	25.91	
Cu/(mg/kg)	否	1.80 ± 0.66	36.46	无
	是	1.67 ± 0.65	39.00	
Zn/(mg/kg)	否	4.24 ± 1.78	41.94	无
	是	4.23 ± 1.60	37.94	
B/(mg/kg)	否	0.48 ± 0.18	37.96	**
	是	0.20 ± 0.08	38.35	
Mo/(mg/kg)	否	0.19 ± 0.05	27.20	**
	是	0.10 ± 0.04	41.57	

注：表中有效含量为平均值 ± 标准偏差，** 表示组内差异有高度统计学意义 (p<0.01)。

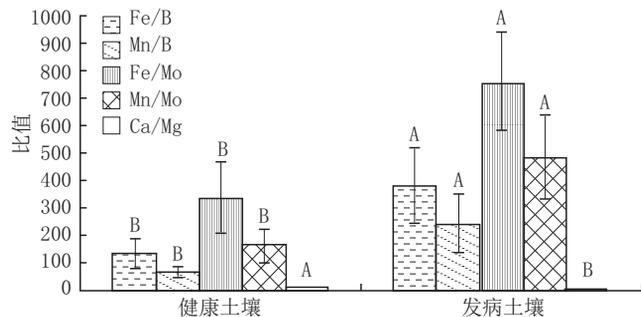
Note: The data were expressed as the mean ± standard deviation (SD). ** represented highly significant difference at p < 0.01 level.

2.2 烟草青枯病发病烟株根际土壤部分中微量元素之间的比值

通过方差分析可知，烟草青枯病发病烟株与健康

烟株根际土壤部分中微量元素之间的比值存在极显著性差异 (图 1)；其中健康烟株根际土壤钙镁比 (9.86) 明显高于青枯病发病烟株根际土壤钙镁比 (4.04)；健

康烟株根际土壤铁/硼(133.44)、锰/硼(63.67)、铁/钼(337.11)、锰/钼(160.84)比值均明显低于发病烟株根际土壤相应指标。鲁耀等^[35]研究指出,植烟土壤的钙镁比是衡量烟叶产质量的一个重要指标,偏高或偏低均不利于优化烤烟的各项指标。说明植烟土壤钙镁比可以作为植烟土壤是否抗青枯病的一个判断指标;在一定范围内,土壤交换性钙镁比例越高可能越有利于巩固植烟土壤对青枯病类土传病害的抑病作用;而关于诸如 Fe/B、Mn/B、Fe/Mo、Mn/Mo 等在发病土壤与健康土壤间也存在极显著差异的指标,其在土壤抑病或烤烟生长方面扮演的角色还有待进一步研究。



注:图中同组内不含相同大写字母表示处理间差异有高度统计学意义(p<0.01)。
Note: The capital letter represented highly significant difference at p < 0.01 level.

图1 健康烟株根际土壤与青枯病发病烟株根际土壤中微量元素之间的比值

Fig.1 The ratio of some mineral elements for rhizosphere soil around healthy and bacterial-wilt-disease tobacco

2.3 烟草青枯病发病烟株根际土壤营养状况的因子分析

2.3.1 健康烟株根际土壤营养状况的因子分析

对重庆市黔江植烟区健康土壤中 pH、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、交换性钙等 13 项指标进

行因子分析,结果如表 2 和表 3 所示。由表 2 可知,通过因子分析前面的主成分法,得出前 7 个因子的方差累积贡献率占原变量总方差的 92.83%,基本保留了原 13 个变量的特征、差异和相互关系。因此,可以将健康土壤中 13 个组分之间复杂的关系转化成 7 个不相关的综合指标。为了进一步简化结构,进行方差极大正交旋转,即得到表 3 的旋转因子载荷矩阵。从表 3 各因子的载荷可看出,第 1 主因子主要由有机质决定,第 2 主因子主要由有效硼、有效锰决定,第 3 主因子主要由有效镁决定,第 4 主因子主要由速效磷决定,第 5 主因子主要由有效钼决定,第 6 主因子主要由 pH 决定,第 7 主因子主要由碱解氮决定,这样就将 13 个变量化为 7 个彼此独立的因子。由此,可将变量分为 {OM}、{B、Mn}、{Mg}、{P}、{Mo}、{pH}、{N} 7 大类。

2.3.2 青枯病发病烟株根际土壤营养状况的因子分析

对植烟区青枯病发病烟株根际土壤中 pH、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、交换性钙等 13 项指标进行因子分析,结果如表 4 和表 5 所示。由表 4 可知,通过因子分析前面的主成分法,得出前 7 个因子的方差累积贡献率占原变量总方差的 86.35%,基本保留了原 13 个变量的特征、差异和相互关系。因此,可以将青枯病发病土壤中 13 个组分之间复杂的关系转化成 7 个不相关的综合指标。从表 5 可明显看出,第 1 主因子主要由有效钼、有效钙决定,第 2 主因子主要由速效钾决定,第 3 主因子主要由有效铜、有效锌决定,第 4 主因子主要由有效硼决定,第 5 主因子主要由有机质决定,第 6 主因子主要由有效镁决定,第 7 主因子主要由有效锰决定。这样就将 13 个组分对青枯病发病土壤的贡献分为如下 7 大类: {Mo、Ca}、{K}、{Cu、Zn}、{B}、{OM}、{Mg}、{Mn}。

表 2 主因子的特征根、贡献率和累积贡献率(健康土壤)
Tab.2 The eigenvalue, proportion and cumulative of principal factors (healthy soil)

指标	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4	Factor5	Factor6	Factor7
特征根	2.745	2.516	1.570	1.512	1.267	1.233	1.227
贡献率/%	21.115	19.350	12.079	11.628	9.743	9.483	9.436
累积贡献率/%	21.115	40.465	52.544	64.172	73.914	83.398	92.834

表 3 旋转因子载荷矩阵 (健康土壤)
Tab. 3 Rotated factor pattern (healthy soil)

土壤成分	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4	Factor5	Factor6	Factor7
pH	0.195	0.039	0.084	0.025	0.256	0.926	0.041
OM	0.818	0.218	-0.085	0.011	0.177	0.160	0.287
N	0.323	0.203	0.215	0.176	0.016	0.043	0.852
P	0.113	0.159	0.286	0.907	0.100	0.017	0.136
K	0.465	0.198	0.484	0.347	0.507	-0.037	-0.124
Ca	0.428	0.595	0.458	-0.022	-0.014	0.105	0.374
Mg	0.015	0.048	0.871	0.289	-0.027	0.091	0.197
Fe	0.626	0.359	0.337	0.399	0.121	0.178	0.263
Mn	0.612	0.702	0.149	0.026	0.124	0.074	0.071
Cu	0.581	0.578	0.160	0.298	0.204	0.294	0.183
Zn	0.609	0.437	0.247	0.394	0.076	0.309	0.280
B	0.163	0.906	-0.021	0.209	0.202	-0.022	0.123
Mo	0.143	0.195	-0.046	0.070	0.885	0.329	0.047

表 4 主因子的特征根、贡献率和累积贡献率 (发病土壤)
Tab. 4 The eigenvalue, proportion and cumulative of principal factors (disease-infected soil)

指标	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4	Factor5	Factor6	Factor7
特征根	2.128	2.118	2.073	1.590	1.215	1.065	1.035
贡献率 /%	16.369	16.295	15.948	12.232	9.349	8.195	7.963
累积贡献率 /%	16.369	32.664	48.612	60.845	70.194	78.398	86.352

表 5 旋转因子载荷矩阵 (发病土壤)
Tab. 5 Rotated factor pattern (disease-infected soil)

土壤成分	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4	Factor5	Factor6	Factor7
pH	0.324	0.496	0.113	0.610	0.109	0.015	-0.054
OM	0.226	0.141	0.148	0.193	0.907	-0.045	-0.002
N	0.627	0.009	0.354	0.278	0.260	0.080	0.113
P	0.563	0.475	0.229	-0.031	0.477	0.157	0.039
K	0.008	0.922	0.006	-0.005	0.115	0.003	0.099
Ca	0.712	0.530	-0.015	-0.002	0.020	-0.165	0.032
Mg	-0.015	0.059	0.079	-0.043	-0.015	0.983	-0.052
Fe	0.308	0.692	0.159	0.309	0.064	0.160	-0.184
Mn	0.149	0.006	0.190	0.132	0.006	-0.057	0.947
Cu	0.098	0.097	0.948	-0.012	0.054	0.060	0.141
Zn	0.075	0.036	0.942	0.162	0.139	0.040	0.064
B	0.169	0.023	0.086	0.901	0.127	-0.064	0.167
Mo	0.770	0.050	0.017	0.395	0.173	-0.009	0.151

将青枯病发病烟株根际土壤的因子分析结果与健康烟株根际土壤的因子分析结果相比较,综合表1健康土壤和青枯病发病土壤营养状况的差异,可明显看出植烟区土壤感染青枯病后内部的营养平衡发生了很大的变化。首先,有效铝、有效钙、速效钾、有效铜、有效锌营养从健康土壤中相对次要的因子变成了青枯病发病土壤中排列第1、2、3的主因子;其次,有效硼、有机质、交换性镁、有效锰在发病土壤中所起的作用都有所降低;第三,速效磷、pH、碱解氮在发病土壤中已变为次要因子,不在7类主因子范围内。说明土壤有效铝、交换性钙、速效钾、有效硼、有机质含量偏低以及交换性镁、有效锰含量偏高可能会有利于或加重青枯病的发生,关于有效铜、有效锌的异常变化,还有待进一步研究、验证。

2.4 烟草青枯病发病烟株根际土壤营养状况的判别分析

借用作物病虫害预测预报常用的判别分析方法,以土壤成分——pH值、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、有效钙、有效镁、有效铁、有效锰、有效铜、有效锌、有效硼、有效铝——为判别因子变量(x),

依次设定为 x_1 、 x_2 、 x_3 、…… x_{13} ;以土壤健康与否为分类变量(y),健康土壤用1表示、发病土壤用2表示;采用 Fisher's 费雪逐步判别的方法进行逐一判别,从影响分类变量的因素中挑选出对判别贡献较大的变量,从而得到一个可靠的植烟土壤发病与否的判别模型。试验结果如下(表6):

$$F_1 = 19.911 x_2 + 3.335 x_3 - 8.122 x_4 + 80.973 x_5 + 70.922 x_6 - 13.863 x_8 - 4.674 x_9 + 14.637 x_{12} + 42.522 x_{13} - 482.785$$

$$F_2 = 14.071 x_2 + 4.925 x_3 - 6.934 x_4 + 66.890 x_5 + 62.703 x_6 - 10.973 x_8 - 2.588 x_9 - 10.597 x_{12} + 12.811 x_{13} - 353.801$$

式中: F_1 —健康土壤; F_2 —青枯病发病土壤;各判别因子变量x所代表的土壤成分见表6。

从表7可明显看出,上述 F_1 、 F_2 两个植烟土壤健康与否的判别函数的可信度已达到98%,仅青枯病发病土壤中出现了两个错误判别,说明建立的 F_1 、 F_2 两个判别函数可用于植烟土壤青枯病发病与否的推断或预测预报;将待判别样品相应成分分别代入上述判别函数,最终得分较大者为测报类或判定结果。

表6 Fisher's 费雪判别函数系数表

Tab.6 Classification of function coefficients

因子		发生类别	
判别因子变量(x)	x对应的土壤成分	健康	发病
x_2	OM	19.911	14.071
x_3	N	3.335	4.925
x_4	P	-8.122	-6.934
x_5	K	80.973	66.89
x_6	Ca	70.922	62.703
x_8	Fe	-13.863	-10.973
x_9	Mn	-4.674	-2.588
x_{12}	B	14.637	-10.597
x_{13}	Mo	42.522	12.811
(Constant)		-482.785	-353.801

表7 判别回代统计表

Tab.7 Classification results

发生类别		预测		总数
		健康	发病	
原始	样本数	健康	78	78
		发病	2	99
	百分率/%	健康	100	100
		发病	2	100

3 讨论

3.1 植烟区连作障碍问题不容忽视

连作是目前我国大部分植烟区普遍存在的问题,尤其是西南烟区。本研究通过对采自连作烟田土壤的13项主要指标进行测定分析,结果表明连作土壤矿质营养严重不平衡,健康土壤与青枯病发病土壤相比,除速效磷、有效铁、有效铜、有效锌4项指标差异不显著外,其余指标差异均极显著。另有大量研究指出^[36-42],连作将增强烟草根系分泌物的自毒作用,根系分泌的酚酸类物质将引起根系细胞膜的紊乱,降低土壤中过氧化氢酶、转化酶、脲酶、中性磷酸酶、酸性磷酸酶、蔗糖酶等酶的活性,影响植物对矿物质的吸收,从而使土壤营养非均衡性变化;连作将导致土壤 H^+ 增多、pH降低,引起酸碱度不平衡,进而导致部分矿质元素富集,对根系产生毒害;连作更有利于病原微生物大量繁殖,将改变土壤微生物区系,破坏微生态环境平衡,进而引起有益微生物和有害微生物与烟草间关系恶化,使病害愈发严重。对此,只有摸清土壤营养状态、微生物区系、微生态环境与烟草间相互作用的关系,合理构建土壤营养、土壤酸碱度、土壤微生态环境、有益微生物和有害微生物与烟草间四大体系的平衡,绿色环保地解决连作障碍问题,存在严重连作现象的烟区才可能全面推进烟叶的标准化生产,踏上“特色、优质、生态、安全”发展的新路子。

3.2 根际营养平衡是防控土传病害的关键

本文首次将土壤中12种植物生长必需的矿质营养成分与青枯病的发生相结合进行系统的研究,采用t检验、因子分析、判别分析等方法对待测土壤13项指标进行分析表明,根际土壤中大部分矿质营养与烟草青枯病的发生与否极显著相关;适当补充钼、钙、钾、硼等营养以及合理调控钙镁比将有助于促进烟草抗病性的表达。Carcia-Mina J M对植物营养与其防御机制进行研究指出^[43],植物的营养水平与其防御机制密切相关;许多矿质营养对不同作物的健康、不同病原物侵染引起的本能的防御反应都有着积极的影响,且涉及在病原菌存在条件下相关元素怎样改善植物生长发育和降低病害严重度的机制仍不清楚。另有研究指出^[17,20,43],矿质营养调控促进植物抗性表达的机理主要是由于矿质元素进入植物体后可能参与植物一些关键的生理生化代谢途径、组织结构的形成(主要是细胞壁的加厚)以及诸如抗氧化剂、植保素、黄酮类物质等抗性相关物质的合成,从而在植物体内加强植物对病原菌的机械阻碍,增强植物的天然防御机

制。此外,通过施肥或追施微量元素或者施用有机改良剂均可直接或间接地改变土壤微生物区系,提高土壤的抑病作用^[21, 25, 44-47]。综上可知,根际营养的调控是控制病害发生流行的关键,在今后的相关研究中明确烟草根际土壤营养与微生物种群、区系变化间的关系也具有重要意义;当然不同元素间存在的协同、拮抗或互不影响作用问题也不容忽视,对其我们将开展进一步的研究。

3.3 判别分析方法应用与土壤因子与病害的关系分析意义重大

判别分析是作物病虫害预测预报中一种常用的数据分析方法,是根据观察或测量到的若干变量值,判别研究对象如何分类的方法。本文首次将该方法应用于土壤因子与土传病害的关系分析中,对今后相关方面研究具有重要的借鉴意义。通过判别回代统计表可明显看出,研究中判别因子变量和分类变量之间准确率达98%,说明判别分析模型可应用于土壤因子与病害的关系研究中,对从不同角度预测病害的发生与否、发生严重度,做好病虫害防控工作意义重大。

4 结语

研究结果表明,健康烟株与青枯病发病烟株根际土壤营养部分指标间存在极显著差异;土壤中交换性钙、有效钼的含量可能是影响青枯病发生最关键的土壤营养因子;合理调控植烟土壤的钙镁比将有利于土壤抑病作用的发挥;判别分析可用在土传病害与土壤因子的关系分析上。建议在今后的烤烟种植中,施底肥时或烟苗移栽成活后可适当增施或补充部分钾、钙、钼、硼等肥料(尤其是钙、钼肥),适当减少氮、镁肥的施用,在一定程度上,不仅可保证烟草的健康生长,同时还可促进烟草抗病性的表达,平衡烟草-土壤间的营养,改善土壤-烟草-微生物三者之间的关系,再辅以一些农业措施,合理利用上述判别模型可对烟草青枯病进行有效防控。

参考文献

- [1] Ghorbani R, Wilcockson S, Koocheki A, et al. Soil management for sustainable crop disease control: a review [J]. Environmental Chemistry Letters, 2008, 6(3): 149-162.
- [2] 刘国顺,李娟,黄克久.重庆植烟土壤有效态微量元素状况分析[J].烟草科技,2010(5):55-59.
- [3] 李晓宁,高明,慈恩.重庆市植烟土壤有效态微量元素含量评价[J].中国生态农业学报,2007,15(3):25-28.
- [4] 郭利,王学龙,陈永德,赵玉纲.有机肥料施用量对烟田土壤微生物的影响[J].湖北农业科学,2009,48(11):2745-2746,2755.

- [5] 刘方, 何腾兵, 刘元生, 等. 长期连作黄壤烟地养分变化及其施肥效应分析 [J]. 烟草科技, 2002, (6): 30-33.
- [6] 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.
- [7] Peeters N, Guidot A, Vaillieu F, et al. *Ralstonia solanacearum*, a widespread bacterial plant pathogen in the post-genomic era [J]. *Molecular plant pathology*, 2013, 14(6): 1-12.
- [8] Huber D M, Thompson I A. Nitrogen and plant disease. In: Datnoff L E et al (eds.). *Mineral Nutrition and Plant Disease*[M]. The American Phytopathological Society, St Paul, 2007.
- [9] Álvarez B, Biosca E G, López M M. On the life of *Ralstonia solanacearum*, a destructive bacterial plant pathogen [J]. *Current research, technology and education topics in applied microbiology and microbial biotechnology*, 2010, 1: 267-279.
- [10] Mahmood R. Relationship between soil physicochemical characteristics and soil-borne diseases [J]. *Mycopath*, 2011, 9(2): 87-93.
- [11] 陈义强, 刘国顺, 习红昂. 微尺度下烟田铁的空间变异性及其与烟叶铁的相关分析 [J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1449-1458.
- [12] 王林, 许自成, 肖汗乾, 等. 湖南烟区土壤有效态微量元素含量的分布特点 [J]. 土壤通报, 2008, 39(1): 120-124.
- [13] 娄翼来, 颜丽, 郝长红, 等. 植烟土壤有效态微量元素的空间变异及分布特征 [J]. 烟草科技, 2009(3): 49-52.
- [14] 陶晓秋. 四川西南烟区土壤有效态微量元素含量评价 [J]. 土壤, 2004, 36(4): 438-441.
- [15] 谭军, 王昌军, 孟贵星, 等. 恩施植烟土壤理化性状对烟草青枯病发生影响的初步分析 [J]. 中国烟草科学, 2012, 33(6): 93-95.
- [16] Huber D M, Haneklaus S. Managing nutrition to control plant disease [J]. *Landbauforschung Volkenrode*, 2007, 57(4): 313-322.
- [17] 李鑫. 矿质元素调控烟草抗 PVY-N 生理生化及分子机制研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2009.
- [18] H·马斯纳(著), 曹一平, 陆景陵(译). 高等植物的矿质营养 [M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1988.
- [19] 郑世燕, 陈弟军, 丁伟, 等. 根际土壤调控对连作烟田青枯病的控制作用 [J]. 中国烟草学报: 2013, 19(1): 47-52.
- [20] Spann T M, Schumann A W. Mineral nutrition contributes to plant disease and pest resistance [J]. 2010.
- [21] Yadessa G B, van Bruggen A H C, Ocho E L. Effect of different soil amendments on bacterial wilt caused by *Ralstonia solanacearum* and on the yield of tomato [J]. *Journal of Plant Pathology*, 2010, 92(2): 439-450.
- [22] 徐小洪, 郑世燕, 谢华东, 等. 有机活性肥料不同含氮水平对烤烟农艺性状及抗青枯病效果的影响 [J]. 重庆与世界, 2011, 28(12): 45-49.
- [23] Yamazaki H. Relation between resistance to bacterial wilt and calcium nutrition in tomato seedlings [J]. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 2001, 35(3): 163-169.
- [24] Huber D M, Jones J B. The role of magnesium in plant disease [J]. *Plant and Soil*, 2012: 1-13.
- [25] Noble R, Coventry E. Suppression of soil-borne plant diseases with composts: A review [J]. *Biocontrol Science and Technology*, 2005, 15(1): 3-20.
- [26] Wang L, Cai K, Chen Y, et al. Silicon-mediated tomato resistance against *Ralstonia solanacearum* is associated with modification of soil microbial community structure and activity [J]. *Biological trace element research*, 2013, 152: 275-283.
- [27] Jiang J F, Li J G, Dong Y H. Effect of calcium nutrition on resistance of tomato against bacterial wilt induced by *Ralstonia solanacearum* [J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2013, 136: 547-555.
- [28] Yamazaki H, Kikuchi S, Hoshina T, et al. Effect of calcium concentration in nutrient solution on development of bacterial wilt and population of its pathogen *Ralstonia solanacearum* in grafted tomato seedlings [J]. *Soil science and plant nutrition*, 2000, 46(2): 535-539.
- [29] Dannon E A, Wydra K. Interaction between silicon amendment, bacterial wilt development and phenotype of *Ralstonia solanacearum* in tomato genotypes [J]. *Physiological and molecular plant pathology*, 2004, 64(5): 233-243.
- [30] Norman D J, Chen J, Yuen J M F, et al. Control of bacterial wilt of geranium with phosphorous acid [J]. *Plant disease*, 2006, 90(6): 798-802.
- [31] Kiirika L M, Stahl F, Wydra K. Phenotypic and molecular characterization of resistance induction by single and combined application of chitosan and silicon in tomato against *Ralstonia solanacearum* [J]. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2013, 81: 1-12.
- [32] Fones H, Preston G M. The impact of transition metals on bacterial plant disease [J]. *FEMS Microbiology Reviews*, 2012.
- [33] Hacisalihoglu G, Ji P, Olson S M, et al. Effect of *Ralstonia solanacearum* on mineral nutrients and infrared temperatures in two tomato cultivars [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2008, 31(7): 1221-1231.
- [34] 史瑞和, 鲍士旦, 秦怀英. 土壤农化分析(第二版)[M]. 北京: 农业出版社, 1996.
- [35] 鲁耀, 郑波, 段宗颜, 等. 钙镁比调控对烟叶产量, 化学品质及镁吸收的影响 [J]. 西北农业学报, 2010, 19(11): 69-74.
- [36] 石秋环, 焦枫, 耿伟, 等. 烤烟连作土壤环境中的障碍因子研究综述 [J]. 中国烟草学报, 2009, 15(6): 81-84.
- [37] 陈冬梅, 吴文祥, 王海斌, 等. 植烟土壤提取物对烟株生长及根际土壤细菌多样性的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(12): 1614-1620.
- [38] 薛超, 黄启为, 凌宁, 等. 连作土壤微生物区系分析, 调控及高通量研究方法 [J]. 土壤学报, 2011, 48(3): 612-618.
- [39] 湛方栋, 陆引罡, 关国经, 等. 烤烟根际微生物群落结构及其动态变化的研究 [J]. 土壤学报, 2005, 42(3): 488-494.
- [40] Lambers H, Mougél C, Jaillard B, et al. Plant-microbe-soil interactions in the rhizosphere: an evolutionary perspective[J]. *Plant and Soil*, 2009, 321(1-2): 83-115.
- [41] Bever J D, Platt T G, Morton E R. Microbial population and community dynamics on plant roots and their Feedbacks on Plant Communities [J]. *Annual review of Microbiology*, 2012, 66: 265-283.
- [42] Hayat R, Ali S, Amara U, et al. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review [J]. *Annals of Microbiology*, 2010, 60(4): 579-598.
- [43] Garcia-Mina JM. Plant nutrition and defense mechanism: frontier knowledge [M] // *Advances in Citrus Nutrition*. Springer Netherlands, 2012: 1-12.
- [44] 郭瑞英, 陈清, 李晓林. 土壤微生物—抑病性与土壤健康 [J]. 中国蔬菜, 2005(增刊): 78-82.
- [45] Renčo M. Organic amendments of soil as useful tools of plant parasitic nematodes control [J]. *Helminthologia*, 2013, 50(1): 3-14.
- [46] Vudhivanich S. Effect of soil amendment with urea and calcium oxide on survival of *Ralstonia solanacearum*, the causal agent of bacterial wilt or rhizome rot of ginger [J]. *Kasetsart Journal*, 2002: 242-247.
- [47] Li J G, Dong Y H. Effect of a rock dust amendment on disease severity of tomato bacterial wilt [J]. *Antonie van Leeuwenhoek*, 2013, 103(1): 11-22.