

烤烟硝酸盐含量与土壤养分的关系

许自成¹, 陈 伟¹, 肖汉乾², 吴 军¹, 黄平俊¹

(1. 河南农业大学农学院, 郑州 450002; 2. 湖南省烟草公司, 长沙 410007)

摘要:采用多元统计分析方法研究了湖南烤烟叶片硝酸盐、亚硝酸盐含量与土壤养分之间的关系, 结果表明: (1) 典型相关分析证实烟叶硝酸盐、亚硝酸盐含量与土壤主要含氮养分(土壤全氮、碱解氮、铵态氮)及有机质含量的关系密切, 与土壤其他养分含量的相关性较小, 反映出在一定范围内, 随着土壤含氮养分及有机质含量的增加, 烟叶(亚)硝酸盐含量呈现增加的趋势, 且土壤含氮养分及有机质含量与烟叶硝酸盐含量关系的密切程度高于与亚硝酸盐含量的相关; (2) 根据烟叶硝酸盐、亚硝酸盐含量及其相应的植烟土壤养分(有机质、全氮、碱解氮、铵态氮)含量的大小, 通过聚类分析把同一等级的烟叶样品分为高、中、低 3 类, 不同类别相比较, 有机质含量越高的土壤, 其土壤全氮、碱解氮、铵态氮含量以及相应的烟叶硝酸盐、亚硝酸盐含量也越高, 说明土壤有机质的高低, 直接影响了土壤氮素的供应状况, 进而影响了烟叶硝态氮含量的积累; (3) 根据聚类分析结果建立了不同等级烟叶硝酸盐、亚硝酸盐含量高低的判别函数, 可作为烟叶硝态氮含量在不同土壤肥力条件下判别归类的参考依据。

关键词: 烤烟; 硝酸盐; 亚硝酸盐; 土壤养分; 多元统计分析

文章编号: 1000-0933(2006)06-1889-07 中图分类号: S154, S572 文献标识码: A

The analysis of relationships between the contents of nitrate and nitrite in flue-cured tobacco leaves and the soil nutrient conditions

XU Zi-Cheng¹, CHEN Wei¹, XIAO Han-Qian², WU Jun¹, HUANG Ping-Jun¹ (1. College of Agronomy, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 2. Tobacco Corporation of Hunan Province, Changsha 410007, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(6): 1889 ~ 1895.

Abstract: Nitrate and nitrite in tobacco leaves are the precursors of tobacco-specific nitrosamines (TSNA). All the factors influencing contents of the above two precursors would affect the formation and accumulation of TSNA. In order to produce high quality and less harmful raw tobacco leaves, it is of great significance to reduce the TSNA content by controlling soil nutrient-supplying conditions to moderate the accumulation of nitrates and nitrites in tobacco leaves. The multivariate analysis was done on the relationships between the contents of nitrate and nitrite in flue-cured tobacco leaves and soil nutrient contents in Hunan tobacco-growing areas. (1) The correlation analysis showed that the contents of nitrate and nitrite in flue-cured tobacco leaves were highly positively correlated with the amounts of main nitrogen-containing nutrients (including total N, alkali-hydrolysable N and ammonium N) and soil organic matter, with a higher coefficient for nitrate. (2) The cluster analysis showed that the higher the amount of soil organic matter, the higher the contents of soil N-containing nutrients (total N, alkali-hydrolysable N and ammonium N) and the leaf nitrate and nitrite, indicating a direct influence of high soil organic matter contents on the soil N supply, and

基金项目: 国家烟草专卖局科技攻关资助项目(110200001009); 河南省杰出人才创新基金资助项目(0421001900); 河南省烟草专卖局科技攻关资助项目(HYKJ200202)

收稿日期: 2005-04-08; **修订日期:** 2005-11-12

作者简介: 许自成(1964~), 男, 河南汝南人, 博士, 教授, 主要从事统计遗传、烟草品质生态、烟草营养与烟叶质量评价研究. E-mail: zcxu@sohu.com

Foundation item: The project was supported by Science and Technology Foundation of National Tobacco Monopoly Administration (No. 110200001009); The Innovation Fund for Outstanding Scholar of He'nan Province (No. 0421001900); Science and Technology Foundation of He'nan Tobacco Monopoly Administration (No. HYKJ200202)

Received date: 2005-04-08; **Accepted date:** 2005-11-12

Biography: XU Zi-Cheng, Ph. D., Professor, mainly engaged in statistical genetics, ecology of tobacco quality, tobacco cultivation and tobacco leaf quality evaluation. E-mail: zcxu@sohu.com

consequently the accumulation of nitrate N in tobacco leaves. (3) Discriminant functions, built by the cluster analysis based on the contents of nitrate and nitrite in tobacco leaves of different class levels, could be used as a reference to judge the nitrate N content in tobacco leaves under different soil fertilities.

Key words: flue-cured tobacco; nitrate; nitrite; soil nutrients; multivariate statistical analysis

烟株从土壤中吸收的硝态氮在硝酸还原酶的作用下还原为亚硝酸盐。已有研究表明:硝酸盐、亚硝酸盐和生物碱是合成强致癌物质亚硝胺(TSNA)的前体物^[1-3],凡影响前体物质形成的因素,如烟草类型、土壤营养和栽培技术等都会影响烟草 TSNA 的形成和积累^[4-11]。在一定的气候条件下,烟叶硝酸盐、亚硝酸盐的积累受烟田氮素形态、营养状况和管理措施的影响很大,通过控制前体物质产生的各种途径来降低烟草 TSNA 具有重要的意义^[12-16]。优质低害烟草品质的形成是土壤营养、空间营养和烟株营养三者之间平衡与协调的结果,其中土壤营养是本,土壤养分的供给直接影响着烟株的生长发育,决定了烟叶的产质和安全性的表现^[17]。以往的报道研究了不同生态因素^[18]和重金属元素^[19]等因素对烟草生长发育及品质的影响,本研究以湖南烟区^[20]为基础,侧重分析土壤营养与烤烟叶片硝酸盐和亚硝酸盐含量的关系,旨在为通过调控烟田营养,生产优质低害的烟叶原料提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 土样的采集和测定

(1)土样采集 2001~2002 年连续 2a 在湖南省主产烟区桂阳、嘉禾、永兴、宁远、新田、兰山、江华、江永、道县、双牌、浏阳、宁乡、临澧、桃源、石门、慈利、永定、桑植、龙山、凤凰、新晃、芷江、洪江、中方、新化、隆回、邵阳、衡南和祁东等 29 个县(市),共采集土壤样品 2320 个。土壤样品的采集时间选在烟草尚未施用底肥和移栽以前,以反映采样地块的真实养分状况和供肥能力,同时注意避开雨季。要求采集地点应具有代表性,使用 GPS 定位技术,根据土种是否相同取耕层土壤 20cm 深度的土样,在同一采样单元内每 8~10 个点的土样构成一个 0.5kg 左右的混合土样。从田间采来的土样经登记编号后进行预处理,经过风干、磨细、过筛、混匀、装瓶后备测定分析之用。

(2)指标测定 土壤 pH 值、有机质、全氮、全磷、全钾、磷解氮、速效磷、速效钾、有效锌、有效铜、有效锰、有效铁、有效钼、有效硼、水溶性氯、交换性钙、交换性镁、有效硫等各养分的具体测定方法参见文献^[21]进行。

1.2 烟样的采集和测定

(1)烟样采集 选取当地烤烟主栽品种(K326、云烟 85、云烟 87、G80)3~4 个,采取定等级、定叶位取样法,每个品种取样品 1 套,每套样品包括中部叶 C₃F(中橘三)、上部叶 B₂F(上橘二)和下部叶 X₂F(下橘二)等 3 个等级。样品等级由专职评级人员按照“GB 2635-92 烤烟”标准进行,等级合格率达到 85% 以上。每个样品取 3kg,用于化学成分测定,烟样烘干、粉碎、过 40 目筛备用,共计 222 个样品。

(2)测定方法 烟叶硝酸盐和亚硝酸盐含量采用比色法进行测定^[22]。

1.3 统计分析方法

烟叶硝酸盐和亚硝酸盐含量与土壤养分数据的典型相关分析参考文献^[23, 24]进行,聚类分析和判别分析参考文献^[25, 26]进行。

2 结果与分析

2.1 烟叶硝酸盐含量与土壤养分的典型相关分析

以样品 B₂F 为例,为了研究烟叶硝酸盐含量与土壤养分指标分组间的相关关系,把烟叶硝酸盐(y_1)、亚硝酸盐(y_2)含量看作一组变量,把土壤养分包括有机质(x_1)、pH(x_2)、全氮(x_3)、全磷(x_4)、全钾(x_5)、铵态氮(x_6)、碱解氮(x_7)、有效磷(x_8)、速效钾(x_9)、有效锌(x_{10})、有效铜(x_{11})、有效锰(x_{12})、有效铁(x_{13})、有效硼(x_{14})、有效钼(x_{15})、有效硫(x_{16})、水溶性氯(x_{17})看作另一组变量,进行典型相关分析,结果见表 1。

由表 1 知,烟叶硝酸盐、亚硝酸盐含量与土壤养分的 2 个典型相关系数中,第 1 个较大且极显著($\lambda_1 =$

0.940^{**}),第2个较小且不显著($\lambda_2 = 0.498$),其中第1典型相关系数所包含的相关信息占两组变量间总相关信息的65.37%,第2典型相关系数所包含的相关信息占两组变量间总相关信息的34.63%。因此,对第1对典型变量的系数进行分析基本上反映了这两组变量间相关的主要信息。

由于原始变量的测量单位不同,不宜进行直接比较,这里采用标准化的典型系数给出典型相关模型 m_i ,计算原始变量与典型变量之间的相关系数 r_{ui} ,结果列于表2。对表2计算结果进行分析,可知第I典型变量的构成为:

$$u_1 = 0.356x_1 + 0.040x_2 + 0.621x_3 - 0.337x_4 - \\ 0.040x_5 + 0.182x_6 + 0.465x_7 + 0.128x_8 + \\ 0.034x_9 - 0.138x_{10} - 0.129x_{11} - \\ 0.026x_{12} + 0.001x_{13} - 0.089x_{14} - \\ 0.150x_{15} + 0.178x_{16} - 0.072x_{17}$$

$$v_1 = 0.993y_1 + 0.121y_2$$

在达到极显著水平的第1对典型变量(u_1, v_1)中,由 u_1 与原始数据 x_i 的相关系数可见,它与土壤全氮(x_3)、碱解氮(x_7)、铵态氮(x_6)、有机质(x_1)存在较高的正相关,相关系数分别为0.859、0.837、0.781和0.614, u_1 与土壤pH值等其他13个土壤养分指标的原始数据的相关系数则明显较低,故 u_1 可理解为主要描述了土壤含氮养分和有机质大小的综合性状,即随着土壤全氮、碱解氮、铵态氮和有机质含量的增加, u_1 存在明显增加的趋势。同样地, v_1 与硝酸盐(y_1)、亚硝酸盐(y_2)的原始数据存在明显的正相关,相关系数依次为0.997和0.762,因此 v_1 可以理解为描述了烟叶硝态氮含量的综合性状。这一线性组合说明土壤含氮养分及有机质含量与烟叶(亚)硝酸盐含量的关系密切,土壤主要含氮养分的提高可能引起烟叶(亚)硝酸盐含量的积累。

第II典型变量(u_2, v_2)的相关系数明显低于第I典型变量,它主要反映了土壤pH值(x_2)、碱解氮(x_7)和全磷(x_4)对烟叶亚硝酸盐含量(y_2)的影响,但这一相关未达到显著水平。

类似地,采用样品C₃F和X₂F分别进行烟叶硝酸盐含量与土壤养分之间的典型相关分析,所得结果与上述B₂F的分析结果基本一致,此不赘述。

2.2 烟叶硝酸盐含量与土壤含氮养分及有机质含量的聚类分析

在典型相关分析的基础上,采用筛选出的土壤全氮(x_3)、碱解氮(x_7)、铵态氮(x_6)和有机质(x_1)以及烟叶硝酸盐(y_1)、亚硝酸盐(y_2)含量共6项指标进行聚类分析,不同等级烟叶样品的聚类结果列于表3。

3种等级的烟叶样品均可根据上述6项指标的含量大小分为高、中、低3类。从分类结果可见,不同等级样品的硝酸盐、亚硝酸盐含量的平均数大小均呈现出C₃F > B₂F > X₂F的趋势,同一类群亚硝酸盐含量的标准差均相应大于硝酸盐含量的标准差,亚硝酸盐含量的变异较大,说明其不仅与土壤含氮养分及氮肥施用有关,而且可能还受其他因素(如调制过程)的影响较大。

表1 烟叶硝酸盐含量与土壤养分的典型相关分析

Table 1 Canonical correlation analysis of nitrate contents of flue-cured tobacco leaf and soil nutrients

典型相关系数(λ) Canonical correlation coefficient	卡方值(χ^2) Chi-square	自由度(df) Degree of freedom	显著水平(α) P value
0.940	160.84	34	0.000
0.498	18.50	16	0.295

表2 典型变量和与典型变量有关性状的相关系数

Table 2 Canonical variables and their correlation coefficients with related traits

性状 Traits	典型变量 I Canonical variable I		典型变量 II Canonical variable II	
	$\lambda_1 = 0.940^{**}$		$\lambda_2 = 0.498$	
	m_i	r_{ui}	m_i	r_{ui}
x_1	0.356	0.614	-0.181	-0.254
x_2	0.040	-0.171	0.425	0.664
x_3	0.621	0.859	-0.209	0.002
x_4	-0.337	-0.107	0.340	0.342
x_5	-0.040	0.001	0.251	0.098
x_6	0.182	0.781	-0.149	-0.013
x_7	0.465	0.837	0.584	0.398
x_8	0.128	0.023	0.019	0.006
x_9	0.034	0.057	-0.067	-0.027
x_{10}	-0.138	-0.084	0.120	0.095
x_{11}	-0.129	-0.013	0.030	0.051
x_{12}	-0.026	-0.183	-0.120	0.041
x_{13}	0.001	0.135	0.207	0.090
x_{14}	-0.089	0.038	0.023	0.031
x_{15}	0.150	-0.067	-0.091	0.097
x_{16}	0.178	0.136	-0.298	0.021
x_{17}	-0.072	-0.146	-0.162	-0.054
	l_i	r_{vi}	l_i	r_{vi}
y_1	0.993	0.997	0.607	-0.079
y_2	0.121	0.762	0.794	0.647

对样品 B₂F 而言,第 1 类烟叶硝酸盐、亚硝酸盐含量及其所对应的土壤有机质、全氮、碱解氮和铵态氮的含量均为最高,这一类样品占该类群样本总数的 22.08%;烟叶硝酸盐、亚硝酸盐含量中等的样品占 41.56%,该类群相应的土壤有机质、全氮、碱解氮和铵态氮的含量均为中等;烟叶硝酸盐、亚硝酸盐含量较低的样品占 36.36%,该类群相应的土壤有机质和主要含氮养分的含量也均为最低。样品 C₃F 与样品 B₂F 的规律相同。样品 X₂F 除中等类群的亚硝酸盐含量(1.35 μ g/g)较最低类群的亚硝酸盐含量(1.46 μ g/g)略低外,也与样品 B₂F 和 C₃F 的规律相一致,即烟叶(亚)硝酸盐含量较高的类群,其所对应的土壤含氮养分和有机质的含量一般也较高。

表 3 烟叶硝酸盐含量与几种土壤养分聚类分析结果

Table 3 Cluster analysis of nitrate contents of flue-cured tobacco leaf and several soil nutrients

样品 Sample	类别 Group	样本数 Num. of sample	硝酸盐 Nitrate (mg/g)	亚硝酸盐 Nitrite (μ g/g)	有机质 Organic matter (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	碱解氮 Hydrolytic N (mg/kg)	铵态氮 Ammonia N (mg/kg)
B ₂ F	高 High	17	6.89 $\pm$ 1.74	4.85 $\pm$ 3.75	44.22 $\pm$ 7.85	2.78 $\pm$ 0.63	283.87 $\pm$ 35.86	23.2 $\pm$ 8.27
	中 Medium	32	5.93 $\pm$ 1.26	4.01 $\pm$ 3.04	38.29 $\pm$ 11.36	2.64 $\pm$ 0.48	208.22 $\pm$ 16.93	19.00 $\pm$ 5.21
	低 Low	28	3.96 $\pm$ 1.57	1.87 $\pm$ 1.44	28.47 $\pm$ 8.34	1.87 $\pm$ 0.56	144.6 $\pm$ 24.08	14.61 $\pm$ 3.45
C ₃ F	高 High	21	8.66 $\pm$ 1.82	7.56 $\pm$ 3.72	46.74 $\pm$ 11.53	2.86 $\pm$ 0.45	263.99 $\pm$ 20.64	23.42 $\pm$ 6.72
	中 Medium	30	7.19 $\pm$ 1.52	5.97 $\pm$ 3.39	41.06 $\pm$ 9.10	2.41 $\pm$ 0.53	201.93 $\pm$ 16.3	16.44 $\pm$ 5.46
	低 Low	23	5.62 $\pm$ 2.58	3.64 $\pm$ 3.27	35.5 $\pm$ 12.97	2.02 $\pm$ 0.74	141.75 $\pm$ 23.49	14.05 $\pm$ 2.86
X ₂ F	高 High	20	6.25 $\pm$ 0.79	2.99 $\pm$ 1.58	46.95 $\pm$ 9.04	2.99 $\pm$ 0.48	264.35 $\pm$ 21.11	23.85 $\pm$ 6.60
	中 Medium	35	4.79 $\pm$ 0.87	1.35 $\pm$ 1.34	43.08 $\pm$ 10.56	2.39 $\pm$ 0.48	195.17 $\pm$ 21.24	18.54 $\pm$ 4.08
	低 Low	16	2.26 $\pm$ 1.32	1.46 $\pm$ 1.63	26.26 $\pm$ 6.47	1.61 $\pm$ 0.48	127.02 $\pm$ 18.86	15.73 $\pm$ 7.56

综上所述,一般有机质含量较高的土壤,其全氮、碱解氮、铵态氮以及对应烟叶样品的硝酸盐、亚硝酸盐含量也较高,说明土壤有机质含量的高低,直接影响了土壤氮素的供应状况,进而影响了烟叶硝态氮(硝酸盐、亚硝酸盐)的含量水平,在有机质含量较高的烟田,烟株生长中后期可能造成氮素供应过多,叶片(尤其是上部叶)较厚,烟株落黄推迟,成熟偏晚,烤后烟叶色泽暗淡,硝酸盐与亚硝酸盐含量较高,安全性下降。但是,尚不能据此片面地认为在土壤有机质和含氮养分含量较高的土壤上,所生产出的烟叶就一定具有较高的硝酸盐含量,因为施肥措施的营养调控作用也不容忽视。

对聚类分析结果的高、中、低 3 个类群之间进行方差分析,可以看出(表 4):6 项指标的类间均方均明显大于机误均方, F 值都达到 1% 的极显著水平,说明类间差异大,聚类结果是合理的。

表 4 烟叶硝酸盐含量与几种土壤养分聚类分析结果的方差分析

Table 4 ANOVA for identifying cluster analysis results of nitrate contents of flue-cured tobacco leaf and several soil nutrients

样品 Sample	指标 Index	类间 Between group		机误 Residual error		F 值 F value
		均方 MS	自由度 df	均方 MS	自由度 df	
B ₂ F	烟叶硝酸盐 Nitrate content	52.12	2	2.22	74	23.51**
	烟叶亚硝酸盐 Nitrite content	56.58	2	7.68	74	7.37**
	土壤有机质 Organic matter	1452.57	2	92.71	74	15.67**
	土壤全氮 Total N	6.20	2	0.30	74	20.93**
	土壤碱解氮 Hydrolytic N	103710.18	2	609.78	74	170.08**
	土壤铵态氮 Ammonia N	403.02	2	30.52	74	13.21**
C ₃ F	烟叶硝酸盐 Nitrate content	50.96	2	3.95	71	12.92**
	烟叶亚硝酸盐 Nitrite content	86.44	2	11.93	71	7.25**
	土壤有机质 Organic matter	693.71	2	123.40	71	5.62**
	土壤全氮 Total N	3.96	2	0.34	71	11.64**
	土壤碱解氮 Hydrolytic N	82060.56	2	399.61	71	205.35**
	土壤铵态氮 Ammonia N	566.94	2	19.66	71	28.84**
X ₂ F	烟叶硝酸盐 Nitrate content	71.59	2	0.94	68	76.06**
	烟叶亚硝酸盐 Nitrite content	18.60	2	2.19	68	8.50**
	土壤有机质 Organic matter	2155.49	2	87.85	68	24.54**
	土壤全氮 Total N	8.55	2	0.23	68	37.62**
	土壤碱解氮 Hydrolytic N	84418.50	2	428.54	68	196.99**
	土壤铵态氮 Ammonia N	318.84	2	33.12	68	9.63**

2.3 基于土壤有机质及含氮养分进行烟叶硝酸盐含量的判别分析

在典型相关和聚类分析的基础上,采用筛选出的土壤有机质(x_1)、全氮(x_3)、铵态氮(x_6)和碱解氮(x_7)4项指标可对烟叶(亚)硝酸盐含量的高低进行判别分析。应用 Fisher 判别法则进行判别分析的结果列于表 5。针对某一给定等级的烟叶样品,可根据它所在生长环境的土壤有机质及主要含氮养分(土壤全氮、土壤铵态氮、土壤碱解氮)的表现,代入上述方程计算 $\hat{Y}$ 值,将该样品归入计算所得 $\hat{Y}$ 值最大的那一类,从而判断该样品(亚)硝酸盐含量的所属类别(高、中、低)。建立的该套判别准则可望为某特定烟叶样品硝酸盐含量的高低提供参考。

3 小结和讨论

(1)典型相关分析结果表明,烟叶硝酸盐、亚硝酸盐含量与土壤主要含氮养分(土壤全氮、土壤碱解氮、土壤铵态氮)及有机质含量的关系密切,与土壤其他养分含量的相关性较小。第一典型相关系数($\lambda_1 = 0.940$)达到 1% 极显著水平,所包含的相关信息占两组变量间总相关信息的 65.37%,第二典型相关系数($\lambda_2 = 0.498$)则未达显著水平。反映出在一定范围内,随着土壤含氮养分及有机质含量的增加,烟叶(亚)硝酸盐含量呈现增加的趋势,这与作者以前的简单相关分析结果相一致^[6]。典型相关分析还表明,土壤含氮养分及有机质含量与烟叶硝酸盐含量关系的密切程度高于其与亚硝酸盐含量的相关,可能是因为烟叶亚硝酸盐主要是在调制过程中积累的^[27]。

(2)在典型相关基础上所进行的聚类分析结果表明,不同等级烟叶硝态氮含量均可分为 3 类,第 1 类的特点是:烟叶硝态氮(硝酸盐、亚硝酸盐)含量及其相应的植烟土壤养分(全氮、碱解氮、铵态氮、有机质)含量均高;第 2 类为烟叶硝态氮含量及其相应的植烟土壤养分含量均为中等水平;第 3 类为烟叶硝态氮含量及其相应的植烟土壤养分含量均较低。不同等级样品的硝酸盐、亚硝酸盐含量的平均数大小均呈现出 $C_3F > B_2F > X_2F$ 的趋势;不同类别相比较,有机质含量高的土壤,其土壤全氮、碱解氮、铵态氮含量以及相应的烟叶硝酸盐、亚硝酸盐含量也高,说明土壤有机质的高低,直接影响了土壤氮素的供应状况,进而影响了烟叶硝态氮含量的积累。因此,理想的植烟土壤,其有机质和含氮养分的含量不宜过高,过高可能引起氮素供应过多,烟株生长过旺,烟叶硝酸盐、亚硝酸盐含量积累增多,烟叶的安全性降低。应当说明的是,在土壤有机质和含氮养分含量较高的土壤上,所生产出的烟叶未必硝酸盐含量就一定高,因为包括施肥措施在内的营养平衡技术还对烟株的生长发育具有重要的调控作用。

(3)根据聚类分析结果建立了不同等级烟叶硝酸盐、亚硝酸盐含量高低的判别函数,可作为不同等级烟叶硝态氮含量在不同土壤肥力条件下归类的判别参考。在实际应用中,若已知某给定等级的烟叶样品,可尝试将其所处生长环境的土壤有机质、全氮、碱解氮、铵态氮含量代入相应的判别函数,分别计算综合指标值,即可将该样品归类,从而判断该样品(亚)硝酸盐含量高低的所属类别。由于烟叶硝酸盐、亚硝酸盐含量在烤烟品种基因型间存在广泛的变异,不仅与多种生态环境条件(光照、温度、水分)和施肥种类等众多因素密切相关,还受调制加工技术的影响^[14, 27, 28],其判断的可靠性尚需接受实践的检验。

最后需要指出的是,本研究的土壤养分数据主要取材于湖南烟区近年来的土壤普查资料,但缺少土壤硝态氮的测定结果;烟叶样品为大样本定等级、定叶位取样,虽与土壤样品相对应,但各地区施肥量存在着一定的差异。这些问题有待今后的试验进一步研究和完善。

表 5 Fisher 分类函数的系数

Table 5 Coefficients of Fisher's discriminant function

样品 Sample	指标 Index	类别 Group		
		高 High	中 Medium	低 Low
B ₂ F	土壤有机质 Organic matter(x_1)	0.290	0.286	0.217
	土壤全氮 Total N(x_3)	-1.523	2.034	1.309
	土壤铵态氮 Ammonia N(x_6)	-0.274	-0.248	-0.112
	土壤碱解氮 Hydrolytic N(x_7)	0.493	0.324	0.219
	常数项 Constant	-72.231	-40.660	-20.408
C ₃ F	土壤有机质 Organic matter(x_1)	0.265	0.244	0.200
	土壤全氮 Total N(x_3)	-0.444	-0.095	0.715
	土壤铵态氮 Ammonia N(x_6)	-0.426	-0.405	-0.174
	土壤碱解氮 Hydrolytic N(x_7)	0.695	0.536	0.355
	常数项 Constant	-93.422	-56.791	-29.310
X ₂ F	土壤有机质 Organic matter(x_1)	0.275	0.298	0.151
	土壤全氮 Total N(x_3)	3.727	2.891	2.578
	土壤铵态氮 Ammonia N(x_6)	-0.843	-0.596	-0.212
	土壤碱解氮 Hydrolytic N(x_7)	0.707	0.509	0.302
	常数项 Constant	-96.488	-55.161	-22.701

References:

- [1] Andersen R A, Fleming P D, Burton H R. N-Aeyland N-nitrosopyridine alkaloids in alkaloids lines of burley tobacco during growth and air-curing. J. Agric Food Chem, 1989, 37: 44 ~ 50.
- [2] Burton H R, Bush L P, Djordjevic M V. Influence of temperature and humidity on accumulation of tobacco-specific nitrosamines in stored burly tobacco. J. Agric Food Chem, 1989, 37: 1372 ~ 1377.
- [3] Burton H R, Dye N K, Bush L P. Distribution of tobacco constituents in tobacco leaf tissue. (I) Tobacco-specific nitrosamines, nitrate, and alkaloids. J. Agric Food Chem., 1992, 40: 1050 ~ 1055.
- [4] Blom-zandstra M, Lampe J E M. The role of nitrate in the osmoregulation of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown at different light intensities. J. Experimental Botany, 1998, 36: 1043 ~ 1052.
- [5] Chamberlain W J, Bake J L, Chortyk O T. Studies on the reduction of nitrosamines in tobacco. Tobacco Sci, 1986, (30): 81 ~ 82.
- [6] Chen W, Liu G Z, Yang S L, et al. Relationship between soil nutrients and nitrate and nitrite content in flue-cured tobacco leaf. J. Henan Agri Sci, 2004, (6): 39 ~ 42.
- [7] Daniel J Catliffe. Nitrate accumulation in spinach growth under different lightinten-sites. J. Amer. Soc. Hort. Soi., 1972, (2): 152 ~ 153.
- [8] Djordjeri M V, Bush L P. Accumulation and distribution of acylated normicotine derivatives in flue-cured tobacco alkaloid. Food Chem, 1990, 38(2): 347 ~ 350.
- [9] Han J F. Tobacco Physiology in Cultivation. Beijing: Agricultural Press of China, 2003. 184 ~ 189.
- [10] Sahrawat K L. Nitrification in some tropical soils. Plant and Soil, 1982, 65: 281 ~ 286.
- [11] Santamaria P, Elia A, Gonella M. Changes in nityate accumulation and growth of endive plants during light period as affected by nitrogen level and form. J. Plant Nutr, 1997, 20(10): 1255 ~ 1266.
- [12] Hitoshi Obtata. Effect of Zn deficiency on protein synthesisin cultured tobacco plant cells. Soil Sci Plant Nutr, 1988, 34(3): 351 ~ 357.
- [13] Vaast P. Effects of solution pH, temperature, nitrate/ammonium rations, and inhibitor on ammonium and nitrate uptake by Arabic coffee in short-term solution culture. J Plant Nutr, 1998, 21(7): 1551 ~ 1564.
- [14] Xu Z C, Chen W, Huang P J, et al. Factors of influencing nitrate accumulation in flue-cured tobacco leaf. Chin Agric Sci Bull, 2004, 20(6): 47 ~ 49.
- [15] Xu Z C, Zhang L, Shi J X, et al. Effect of phosphate fertilizer on nitrate and nitrite content in flue-cured tobacco. Tobacco Sci & Tech, 2003, (2): 32 ~ 34.
- [16] Xu Z C, Zhang H F, Zhang L, et al. Effects of nitrogen form and rate on nitrate and nitrite content in flue-cured tobacco. J. Zhengzhou Institute of Light Industry (Natural Science), 2005. 20(2): 4 ~ 7.
- [17] Cai X B, Dong G Z. Tobacco soils environments in southeast Tibet. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(10): 1696 ~ 1703.
- [18] Xu Z C, Liu G S, Liu J H, et al. Analysis of ecological factors and quality of flue-cured tobacco leaves in Tongshan tobacco-growing areas. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(7): 1748 ~ 1753.
- [19] Yan C L, Hong Y T, Fu S Z, et al. Effect of Cd, Pb stress on scarenging system of activated oxygen in leaves of tobacco. Acta Ecologica Sinica, 1997, 17(5): 488 ~ 492.
- [20] Xiao H Q, Xu Z C, Yu C X, et al. Preliminary analysis of the status of soil fertility in Hunan tobacco-growing areas. In: Chen J-H, Ed. Proceedings of China Tobacco, Beijing: Scientific & Technological Literature Press, 2004. 241 ~ 246.
- [21] Li Y K. Normal Analysis Methods of Soil and Agro-chemistry. Beijing: Science Press, 1983.
- [22] Tang Z C. A Guide Book to Modern Plant Physiology Experiments. Beijing: Science Press, 1999. 139 ~ 140.
- [23] Liu L F, Ma J Y, You Z L. Canonical correlation analysis on site conditions and growth of *Platycladus orientalis* stand in mount Qianfe of Ji'nan. Scientia Silvae Sinicae, 1994, 30(2): 181 ~ 187.
- [24] Tang Q Y, Feng M G. DPS Data Processing System for Practical Statistics. Beijing: Science Press, 2002. 393 ~ 400.
- [25] Lu W D, Zhu Y L, Sha J, et al. SPSS for windows. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1997. 358 ~ 443.
- [26] Xu Z C, Xiao H Q, Zhao X Z, et al. Statistical methods for evaluating the status of soil fertility in tobacco - growing areas. Chin J Soil Sci, 2004, 35(5): 558 ~ 561.
- [27] Yang H W, Li Y Z, Liu Y Z, et al. Form, accumulation and effect factors of tobacco-specific nitrosamines. Tobacco Sci & Tech, 1998, (4): 31 ~ 33.
- [28] Chen G J, Zhang S C, Xu Z C. Effects of Soil Fertility on Nitrate Accumulation in Flue-cured Tobacco Leaf. Chin Agric Sci Bull, 2005, 21(8): 200 ~ 203.

参考文献:

- [6] 陈伟, 刘桂珍, 杨树林, 等. 烤烟叶片硝酸盐、亚硝酸盐含量与土壤养分的关系分析. 河南农业科学, 2004, (6): 39 ~ 42.

- [9] 韩锦峰. 烟草栽培生理. 北京: 中国农业出版社, 2003. 184 ~ 189.
- [14] 许自成, 陈伟, 黄平俊, 等. 影响烤烟叶片硝酸盐积累的因素分析. 中国农学通报, 2004, 20 (6): 47 ~ 49.
- [15] 许自成, 张莉, 石俊雄, 等. 施磷对烤烟硝酸盐和亚硝酸盐含量的影响. 烟草科技, 2003, (2): 32 ~ 35.
- [16] 许自成, 张会芳, 张莉, 等. 不同氮素形态和用量对烤烟硝酸盐和亚硝酸盐含量的影响. 郑州轻工业学院学报(自然科学版), 2005, 20 (2): 4 ~ 7.
- [17] 蔡晓布, 董国正. 藏东南地区植烟土壤环境研究. 生态学报, 2001, 21(10): 1696 ~ 1703.
- [18] 许自成, 刘国顺, 刘金海, 等. 铜山烟区生态因素和烟叶质量特点. 生态学报, 2005, 25(7): 1748 ~ 1753.
- [19] 严重玲, 洪业汤, 付舜珍, 等. Cd, Pb 胁迫对烟草叶片中活性氧清除系统的影响. 生态学报, 1997, 17(5): 488 ~ 492.
- [20] 肖汉乾, 许自成, 余崇祥, 等. 湖南省植烟土壤养分丰缺状况的初步分析. 见: 陈江华主编. 中国烟叶学术论文集, 北京: 科学技术文献出版社, 2004. 241 ~ 246.
- [21] 李酉开. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社. 1983.
- [22] 汤章城. 现代植物生理学试验指南. 北京: 科学出版社, 1999. 139 ~ 140.
- [23] 刘来福, 马军英, 尤作亮. 济南千佛山侧柏林生长性状与环境因子间的典型相关分析. 林业科学, 1994, 30(2): 181 ~ 187.
- [24] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统. 北京: 科学出版社, 2002. 393 ~ 400.
- [25] 卢纹岱, 朱一力, 沙捷, 等. SPSS for Windows. 北京: 电子工业出版社, 1997. 358 ~ 443.
- [26] 许自成, 肖汉乾, 赵献章, 等. 植烟土壤养分丰缺状况评价的统计学方法. 土壤通报, 2004, 35(5): 558 ~ 561.
- [27] 杨焕文, 李永忠, 刘彦中, 等. 烟草特有的 N-亚硝酸胺形成、积累及其影响因素. 烟草科技, 1998, (4): 31 ~ 33.
- [28] 陈贵军, 张水成, 许自成. 土壤肥力对烤烟叶片硝酸盐积累的影响. 中国农学通报, 2005, 21(8): 200 ~ 203.