

土壤—烤烟矿质营养元素相互 关系的主组分分析*

张晓林[†] 和丽忠 陈锦玉 樊永言

(云南省农业科学院生物技术研究所, 昆明 650223)

曹 槐[†] 刘世熙

(云南大学现代生物学研究中心, 昆明 650091)

程辉斗 温永琴

(云南农业大学烟草研究所, 昆明 650201)

张晓海 李金培 王绍坤

(云南省烟草研究院农业所, 玉溪 653100)

摘 要 对云南五种植烟土壤上烤烟三个品种、六个生育期烟叶中钾、磷、硫、钙、镁、铁、锰、锌、铜、硼浓度和烟株根区土壤中 AB/D 联合提取的养分含量及土壤 pH、有机质和碱解氮的测试数据, 用主组分分析 (PCA) 方法, 讨论土壤—烤烟系统矿质营养元素的相互关系及交互作用。结果显示: ①烟叶矿质营养元素浓度随烤烟生育期有规律的变化, 受根区土壤化学性质影响的变异大于品种间的差异; ②烟叶钾、磷、铜、硼表现明显的稀释效应, 钙、镁表现积累效应; ③烤烟钾、磷、铜、硼营养存在相互协同作用, 钙对钾、磷、铜、硼营养有明显的拮抗作用。④增加土壤有机质, 利用钾、磷、铜、硼的协同作用, 减轻钙对钾、磷、硼的拮抗是改善烤烟营养, 提高烤烟产量品质的关键之一。

关键词 烤烟, 根区土壤, 矿质营养元素, 主组分分析

中图分类号 S153.6, Q945.1

作物的矿质营养状况受一系列因素影响, 气候、土壤、施肥、栽培、作物品种的遗传特性是主要因素。土壤环境和植物营养的关系是相互的。土壤—植物系统内矿质营养元素的交互作用对作物的矿质营养有显著影响^[1,2]。这是一个复杂的多因素多变量问题。对这类问题的统计分析, 以往较多使用的是回归分析和相关分析。这些方法往往要事先指定

* 云南省科委应用基础研究基金资助面上项目 (97C062M)、重点项目 (98C005Z), 云南省教委科学研究基金资助项目 (9812081)

[†] 通讯作者

收稿日期: 1999-09-28; 收到修改稿日期: 2000-11-25

待考察的因素,严格控制其他因素的均匀性,并且是在固定某几个变量的情况下去分析其余变量的关系,得到的相互关系因不包含未指定的因素以及固定了的那些变量的作用而有局限性。近年来发展起来的多因素分析为探索和阐明这类问题提供了新的手段。它是研究相关变量共同关系的技术,由于同时考虑诸多变量,因此能解释用单因素分析不能说明的问题,得出比单一变量对比分析更强有力的结论。其中的主组分分析(PCA)由于具有两个显著特点:(1)不需要有关待分析样品或变量的任何先验信息和(2)以尽可能少的潜在变量表征全部量测数据。即PCA是一种变量简化技术,它对变量的属性没有严格要求,只要样品达到一定数量又具有独立性、代表性,那么,相同属性的变量,相近特征的样品会根据各自在潜变量(即PC)空间中的位置显示出清晰的相互关系。在处理以量测数据表征的分析对象的相关定量信息方面日益受到重视,被有效应用于土壤数值分类和土壤环境质量评价^[3~7]。

多因素影响共存下研究土壤烤烟系统内矿质营养元素的相互关系及交互作用尚未见报道。本文对云南五种植烟土壤上烤烟三个品种、六个生育期的烟叶钾、磷、硫、钙、镁、铁、锰、锌、铜、硼浓度和烟株根区土壤中AB/D联合提取的养分含量及土壤pH、有机质和碱解氮的测试数据,应用Sirius化学计量学软件作PCA。目的在于:在非控制条件下,即气候、土壤、施肥、栽培、品种和生育期不尽相同情况下,应用PCA方法(1)研究土壤-烤烟矿质营养元素相互关系及交互作用的可行性;(2)深入了解影响烤烟矿质营养状况的主要因素;(3)对改善植烟土壤环境、烤烟营养吸收和合理施肥的提供指导意见。

1 材料与方 法

1.1 供试土壤和烤烟

样品取自云南烤烟主产区五种不同类型定点土壤上三个品种,六个生育期的烟叶和对应烟株的根区土壤(表1)。每次每点取样10株。烟叶样品为整株烟叶混合样,成熟期烟叶样为分期采收合并后的混合样。土壤样品为烟株根区混合样,取以烟株为圆心,株距为直径,烟根垂直长为深度的土柱,每次每点十株烟的十个土柱混合后缩分取样,取样深度随烟根生长下移。

1.2 土壤测试

pH值用水提取,水土比5:1,电位计测定。有机质用重铬酸钾容量法测定。碱解氮用扩散吸收法测定。土壤养分用AB/D($1\text{ mol L}^{-1}\text{ NH}_4\text{HCO}_3 + 0.005\text{ mol L}^{-1}\text{ DTPA}$)联合提取,土液比1:2,ICP-AES同时测定P、K、S、Ca、Mg、Fe、Mn、Zn、Cu、B^[8,9]。本文中称作土壤养分或土壤元素含量除碱解氮外皆指上述AB/D法的可提取量。

1.3 植物分析

烟叶样品过40号筛,60℃干燥3小时。10份HNO₃加1份HClO₄湿分解,溶于5%HCl,ICP-AES同时测定P、K、S、Ca、Mg、Fe、Mn、Zn、Cu、B^[10]。用茶叶标准物质(GBW08505)控制测定结果的准确性。

1.4 主组分分析(PCA)

PCA是一种重要的化学计量学方法。它是一种处理以量测数据表征的多因素多变量问题的统计分析方法,是研究相关变量共同关系的技术。在主组分平面图中最有用的是双图(Biplot)即样品在主组分上的得分(Score)和变量在主组分上的载荷>Loading)一块表示的PC图,根据样品或变量在PC上的

表1 样品概况

Table 1 Outline of samples

取样地点 Sampling locality	土壤类别 Soil type	pH ¹⁾	有机质 ¹⁾ Organic matter (g kg ⁻¹)	烤烟品种 ²⁾ Tobacco varieties	施钾量 ²⁾ K ₂ O application (kg hm ⁻²)	样品代号 Code of sample 土壤 烟叶 Soils Tobacco leaves	
石林县板桥乡	石灰岩红壤	4.5	16.0	红大	272	Lhs	Lhy
		4.3	15.9	K326	392	Lks	Lky
楚雄市永安乡	紫色土	6.3	13.7	红大	70	Chs	Chy
		6.6	14.7	K326	190	Cks	Cky
寻甸县大河桥乡	山原红壤	6.9	23.0	K326	264	Xks	Xky
		昭通良种场	黄壤	6.7	35.7	红大	286
6.8	30.0			Nc82	406	Zns	Zny
江川县后卫乡	冲积性红壤	7.0	40.6	红大	181	Jhs	Jhy
		7.4	42.2	K326	301	Jks	Jky

1) pH和有机质为烤烟移栽后不同生育期根区土壤样品六次测定的算术平均值。

2) 各品种移栽行株距 110 × 60 (cm), 田间管理按烤烟栽培规范进行。施肥因品种不同, 红大施 N 90 kg hm⁻², K326 和 Nc82 施 N 120 kg hm⁻², 氮磷钾比例为 N:P₂O₅:K₂O = 1:2:4, 分别用硝酸铵, 普钙, 硫酸钾, 不施有机肥。表中列出的钾肥用量是扣除移栽前植烟土壤耕层速效钾的量(耕层土壤按 1200000 kg hm⁻²计)。

Score 或 Loading 提供有关数据结构的基本特征, 诸如样品或变量的聚类模式, 样品间、变量间、或二者之间的相互关系及相关程度等。Score 相近的样品视为同类, Loading 相近的变量视为相关, 对 PC 贡献大的变量其影响程度也大。本项工作应用 Sirius 化学计量学软件, 以 108 个供试样品的 702 个土壤测试数据, 540 个烟叶元素测定结果作变量进行主组分分析, 用双图或变量载荷和样品得分描述所有数据的聚类结果和相互关系^[11]。

2 结果与讨论

2.1 烟叶矿质营养元素的主组分分析

54 个烟叶样品 10 种营养元素浓度见表 2。PCA 结果见表 3、表 4 和图 1。

表 3 是烟叶 10 种营养元素在前三个 PC 上的载荷, 占原变量总方差的 66.2%, 基本保留了原变量的特征、差异和相互关系。

PC1 占原变量总方差的 32.6%, K、P、Fe、Cu、Zn、B 占有较高的正载荷, 反映了烟叶中这六种元素因生育期、土壤和品种不同, 变化较大但具有相似性; PC2 占原变量总方差的 20.5%, S、Mg、Ca 占有较高的正载荷, Mn 占有较高的负载荷, 反映烟叶中 S、Mg、Ca、Mn 相对于 K、P、Fe、Cu、Zn、B 变化较小, S 与 Ca、Mg 的变化有相似性, 而 Mn 与 S、Mg、Ca 具有相反的变化趋势; PC3 占原变量总方差的 13.1%, Ca、Mg 占有较高的负载荷, 表明烟叶中 Ca、Mg 浓度在某些情况下的变化与其他元素的变化趋势相反。

可以看出, 烟叶 P 与 Fe 在 PC1 和 PC2 上的载荷相近, 两者正相关, 类似的还有 Zn 与 Cu, K 与 P、Fe, K 与 Cu、Zn, Mg 与 B, B 与 P、Fe; 烟叶 S 与 Mn 在 PC1 上载荷相近, 而在 PC2

表2 烟叶中的元素含量

Table 2 Contents of elements in tobacco leaves

样品 Samples	元素含量 (mg kg ⁻¹)									
	S	P	K	Mg	Ca	Fe	Zn	Cu	Mn	B
Cky2	0.576	0.476	4.13	0.451	2.50	0.139	49.3	20.3	119.2	36.2
Cky3	0.375	0.321	4.52	0.377	2.29	0.056	53.4	18.8	289.9	20.2
Cky4	0.383	0.296	4.13	0.379	2.15	0.101	70.6	17.9	365.8	21.4
Cky6	0.371	0.168	2.29	0.409	2.73	0.032	29.9	15.1	236.1	24.6
Cky8	0.304	0.160	2.32	0.386	2.86	0.041	32.1	9.2	584.5	21.8
Cky9	0.409	0.155	1.65	0.341	2.80	0.029	19.9	11.1	162.5	23.8
Chy2	0.621	0.476	4.52	0.382	2.03	0.124	49.5	18.3	136.2	21.6
Chy3	0.395	0.376	4.77	0.420	2.10	0.079	55.5	18.6	401.6	21.4
Chy4	0.429	0.339	4.89	0.407	2.18	0.051	81.8	16.1	617.9	19.4
Chy6	0.393	0.160	2.50	0.321	2.33	0.027	28.6	13.9	116.8	18.2
Chy8	0.441	0.176	1.52	0.374	2.89	0.038	32.1	15.5	91.9	21.9
Chy9	0.498	0.169	1.64	0.421	3.46	0.040	36.5	14.4	85.8	25.2
Zhy2	0.686	0.443	4.80	0.326	2.33	0.082	40.8	17.5	62.6	14.4
Zhy7	0.537	0.325	3.58	0.440	3.00	0.044	68.4	22.1	60.9	15.4
Zhy8	0.733	0.297	3.30	0.452	1.67	0.028	43.3	22.0	68.4	16.8
Zhy12	0.801	0.256	1.59	0.439	2.53	0.088	42.5	18.1	42.7	23.8
Zhy13	1.042	0.258	1.60	0.567	4.08	0.048	45.9	15.7	115.0	23.0
Zhy14	0.951	0.277	1.76	0.543	4.07	0.035	48.8	18.0	97.7	21.8
Zny5	0.565	0.406	4.39	0.323	2.51	0.130	63.6	19.4	63.7	19.4
Zny9	0.464	0.326	4.08	0.387	3.13	0.047	76.3	23.3	45.8	19.8
Zny10	0.598	0.267	3.21	0.345	2.84	0.076	49.8	22.9	48.3	19.4
Zny12	0.590	0.150	2.57	0.511	5.71	0.030	14.8	8.6	70.1	14.8
Zny13	0.848	0.184	2.22	0.542	5.94	0.034	29.2	15.1	97.7	19.2
Zny14	0.932	0.242	2.06	0.469	4.24	0.029	43.3	15.6	69.3	23.6
Jky2	0.486	0.176	3.77	0.613	3.33	0.206	38.1	15.2	56.4	30.1
Jky4	0.430	0.361	7.69	0.566	3.13	0.103	30.7	17.7	63.7	25.0
Jky6	0.514	0.210	3.69	0.498	3.18	0.022	19.9	14.5	27.7	22.8
Jky7	0.623	0.196	2.87	0.495	3.06	0.019	19.1	12.8	24.1	33.3
Jky8	0.464	0.159	1.96	0.419	2.64	0.016	14.4	9.9	20.7	21.7
Jky9	0.448	0.149	1.77	0.463	2.66	0.017	14.2	10.5	17.5	23.8
Jhy2	0.455	0.259	3.81	0.742	2.67	0.239	21.1	11.8	74.7	20.7
Jhy4	0.581	0.464	5.94	0.763	3.40	0.123	43.2	25.3	85.7	28.1
Jhy6	0.671	0.238	3.84	0.598	3.21	0.015	26.1	19.8	29.9	19.4
Jhy7	0.624	0.213	3.04	0.546	3.25	0.026	22.7	14.8	28.4	21.3
Jhy8	0.491	0.194	2.37	0.413	2.29	0.018	18.6	11.9	20.1	24.1
Jhy9	0.600	0.204	2.03	0.458	2.56	0.026	23.0	15.9	21.9	21.7
Lhy2	0.624	0.457	4.79	0.467	1.73	0.247	47.5	19.9	156.2	34.6
Lhy3	0.411	0.247	4.26	0.439	2.63	0.160	77.6	29.8	176.5	23.4
Lhy4	0.362	0.198	4.08	0.592	3.14	0.106	120.5	29.1	305.6	16.7
Lhy7	0.324	0.136	2.95	0.564	2.81	0.083	34.7	28.1	371.8	14.4
Lhy9	0.331	0.104	2.26	0.535	2.86	0.038	29.9	17.2	471.5	17.2
Lhy10	0.449	0.109	1.89	0.525	3.43	0.028	47.9	23.6	283.4	21.8
Lky2	0.541	0.421	4.33	0.429	1.87	0.196	53.6	19.5	104.6	33.4
Lky3	0.499	0.283	3.88	0.425	2.36	0.110	67.7	21.8	314.7	21.4
Lky4	0.324	0.179	4.16	0.474	3.00	0.257	59.9	31.1	188.3	20.4
Lky7	0.417	0.165	3.24	0.515	2.88	0.086	60.1	28.5	198.6	18.8
Lky9	0.324	0.119	2.00	0.425	2.28	0.059	31.7	19.3	173.7	13.8
Lky10	0.450	0.144	2.14	0.382	2.30	0.067	23.2	18.3	204.4	19.0
Xky3	0.913	0.387	5.90	0.690	2.49	0.490	65.8	33.6	190.4	36.6
Xky4	0.744	0.248	4.36	0.606	2.41	0.201	43.8	21.5	107.7	22.2
Xky5	0.491	0.203	2.44	0.437	1.68	0.149	21.8	21.1	57.2	16.2
Xky7	0.525	0.218	2.39	0.506	1.95	0.173	25.7	26.3	92.3	19.6
Xky8	0.616	0.209	2.03	0.494	1.88	0.066	20.2	15.6	84.0	18.0
Xky9	0.549	0.181	1.84	0.474	1.95	0.052	19.9	13.6	49.3	16.4

上载荷相反,两者负相关;烟叶 K 与 Ca 在 PC1 和 PC2 上载荷相反,两者负相关,类似的还有 Ca 与 Cu, Zn。因此,PCA 把 P、Fe、K、Cu、Zn、B 归为一类,相互正相关,同时与 Ca 呈负相关;S、Mg、Ca 为另一类,相互正相关,并与 Mn 呈负相关。

选择昭通黄壤、楚雄紫色土和石林石灰岩红壤上烟叶 K、P、S、Ca、Zn、Mn、B 作变量,引入烟叶干重(DM)作 PC 双图得图 1。结果表明,烟叶 K、P、Zn、B 浓度(因 Fe 与 P、Cu 与 Zn 密切相关,还应包括 Fe 和 Cu。)随烤烟生长而降低,表现出明显的稀释效应。相反烟叶 Ca 浓度(因 Mg 与 Ca 相关,还应包括 Mg)。随烤烟生长而上升,呈现积累效应。烟叶 S、Mn 与干物重正交,浓度变化与干物质积累关系不大。同时,清楚表明 K、P、B、Fe、Zn、Cu 相互间的正相关关系,Ca 与 K、P、B、Fe、Zn、Cu、Mn 以及 S 与 Mn 的负相关关系。

表3 烟叶十种营养元素在主组分上的载荷

Table 3 Loading of ten nutrient elements in tobacco leaves on principal components

变量 Variables	载荷 Loading		
	PC1	PC2	PC3
S	0.064	0.546	-0.008
P	0.413	0.101	0.379
K	0.462	-0.033	0.070
Mg	0.170	0.372	-0.494
Ca	-0.167	0.341	-0.515
Fe	0.440	0.107	-0.035
Mn	0.087	-0.487	-0.252
B	0.258	0.311	0.299
Zn	0.368	-0.269	-0.251
Cu	0.391	-0.136	-0.353

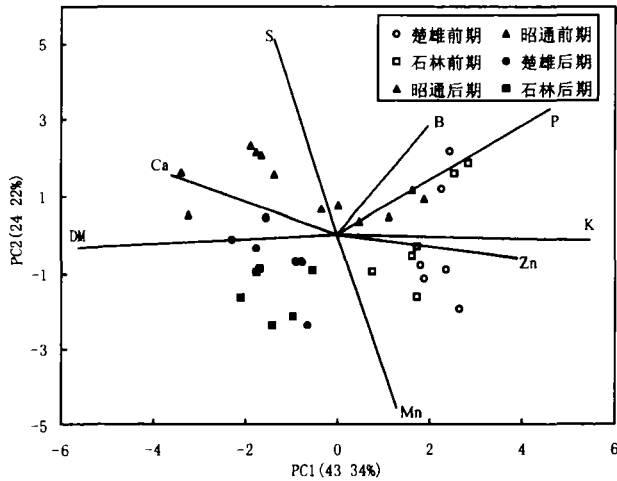


图1 烟叶干物质与7种元素的关系

Fig.1 The relationship between dry matter and 7 elements in tobacco leaves

比起相关分析来,PCA 要简明得多。以 K、Ca、B 为例,相关分析得出:K326 和红大烟叶 K、Ca、B 浓度在苗期、旺长初、中、末期相互无关,团棵期烟叶 K 与 B 正相关(0.882* 和 0.911*);团棵期 K326 烟叶 K 与 Ca, Ca 与 B 正相关(0.973** , 0.959**);成熟期红大烟叶 K 与 Ca, K 与 B 负相关(-0.912* , -0.959**)。

表 4 是 54 个烟叶样品在前三个 PC 上的得分。同一土壤两个品种样品按生育期顺序排列。得分的差异反映了烟叶元素浓度在品种间的差异,受土壤的影响和随生育期的

表4 烟叶样品在主组分上的得分

Table 4 Scores of tobacco leaf samples on the PC

样品 Samples	得分 Scores			样品 Samples	得分 Scores		
	PC1	PC2	PC3		PC1	PC2	PC3
Cky2	2.417	0.963	1.813	Xky7	0.317	-0.100	-0.151
Cky3	0.644	-1.842	0.647	Xky8	-1.276	0.241	0.592
Cky4	1.017	-2.215	0.374	Xky9	-1.841	0.020	0.644
Cky6	-1.384	-0.851	0.396	Chy2	1.638	-0.238	1.744
Cky8	-1.735	-2.350	-0.039	Chy3	1.339	-1.956	0.609
Cky9	-2.323	-0.528	1.064	Chy4	1.387	-3.079	-0.153
Jky2	0.631	1.547	-0.438	Chy6	-1.921	-1.210	1.009
Jky4	1.948	0.784	0.942	Chy8	-1.809	-0.357	0.511
Jky6	-1.096	0.872	0.328	Chy9	-1.640	-0.408	0.115
Jky7	-1.019	1.832	1.026	Jhy2	0.518	1.474	-0.529
Jky8	-2.447	0.321	1.081	Jhy4	3.097	2.047	-0.873
Jky9	-2.343	0.564	0.893	Jhy6	-0.434	1.365	-0.677
Zny5	1.294	-0.583	1.250	Jhy7	-1.183	1.321	-0.123
Zny9	0.883	-0.754	-0.061	Jhy8	-1.759	0.308	1.436
Zny10	0.023	-0.291	0.358	Jhy9	-1.498	0.662	0.616
Zny12	-2.993	1.763	-1.678	Zhy2	0.655	-0.248	1.628
Zny13	-1.928	2.660	-2.258	Zhy7	0.411	-0.548	-0.384
Zny14	-1.056	2.178	-0.545	Zhy8	0.108	-0.086	0.622
Lky2	2.509	0.377	1.964	Zhy12	-0.306	1.095	0.604
Lky3	1.189	-1.464	-0.171	Zhy13	-0.762	2.652	-1.068
Lky4	1.888	-1.243	-1.542	Zhy14	-0.631	2.166	-1.066
Lky7	0.518	-1.116	-1.658	Lhy2	3.211	0.773	2.016
Lky9	-1.686	-1.666	-0.388	Lhy3	2.102	-1.283	-0.787
Lky10	-1.472	-1.061	0.305	Lhy4	2.160	-2.134	-3.107
Xky3	6.275	2.482	-0.893	Lhy7	-0.228	-1.804	-2.208
Xky4	1.549	1.155	-0.541	Lhy9	-1.517	-1.803	-1.521
Xky5	-0.536	-0.527	0.559	Lhy10	-0.904	-0.694	-1.837

变化。

不同土壤两个品种的得分多数情况为苗期或团棵期最高,旺长末期或成熟期最低。并且在进入旺长阶段先后由正转负。反映了烟叶 P、Fe、K、Cu、Zn、B 浓度前高后低的变化规律。进入旺长阶段,烤烟对这些元素的吸收速率开始滞后于干物质积累速度。昭通黄壤两品种在 PC2 上得分表现团棵期最低,旺长末期最高,反映了烟叶 S、Mg、Ca、Mn 浓度前低后高。江川冲积红壤两品种、寻甸山原红壤 K326 在 PC3 上得分前低后高。由于 S、Mg、Ca、Mn 在 PC3 上得分为负,因此烟叶 S、Mg、Ca、Mn 浓度仍然前高后低;但在其他土壤上则为前低后高。这说明多数情况下,烟叶 S、Mg、Ca、Mn 浓度前低后高与 P、Fe、K、Cu、Zn、B 的前高后低相反。

从 PC1 来看, 大多数时期除江川冲积红壤外各土壤上皆是 K326 的得分高于红大, 因 K326 施肥量大于红大, 说明烟叶 P、Fe、K、Cu、Zn 浓度受施肥量的影响。但红大在肥沃的江川冲积性红壤上得分高于 K326, 说明烟叶 P、Fe、K、Cu、Zn 浓度受土壤的影响大于受施肥量的影响。

对样品在 PC1 上的得分进行无重复双因素方差分析(表 5), 结果表明: 在旺长期土壤类型对烤烟营养元素浓度的影响大于品种的差异, 仅在成熟期品种间的差异大于不同土壤间的差别; 在同一土壤上不同生育期烟叶营养元素浓度的变化显著大于品种间的差异; 同一品种不同生育期烟叶各元素浓度的变化显著大于土壤的影响。

表5 烟叶样品在PC1上的得分的方差分析

Table 5 Variance analysis for scores of tobacco leaf samples on the PC1

因素 Factors	df	F-cnt	F					
			苗期 Seedling	团棵期 Knee-high	旺长 Vigorous growth stage			成熟期 Maturation
					初期 Initial	中期 Middle	末期 Late	
品种	1	10.13	1.04	0.60	24.7**	17.03*	3.59	34.9**
土壤类型	3	9.28	0.78	1.94	170.5***	48.1**	7.04	9.4*
因素 Factors			紫色土 Purple soil	冲积红壤 Alluvial red soil	石灰岩红壤 Red calcareous soil		黄壤 Yellow soil	
品种	1	6.61	0.07	5.53	1.71		1.15	
生育期	5	5.05	34.3**	43.2**	38.3**		3.06	
			K326		红大 Hongda			
土壤类型	3	3.29	2.00		1.76			
生育期	5	2.90	11.1**		10.3**			

2.2 烟叶矿质营养元素与根区土壤化学性质的关系

取样烟株根区土壤化学性质见表 6(取样深度随根系生长变化)。烤烟作为一种垄作作物, 由于培土中耕、前期集中施肥和根系生长下移, 植物对养分的吸收速率和土壤养分矿化流失、固定速率的变化, 生长期间根区土壤环境变动较大。表 6 结果的主组分分析(图 2 和图 3)表明烤烟根区土壤化学性质随生育期的变化与烟叶元素浓度的变化趋于一致; 土壤 P、K、OM、碱解 N、S 和 Zn 相互正相关, 与 Mg 和 Ca 负相关; B、Fe 和 pH 相互正相关, 与 Mn、Cu 及 S 负相关; Ca 与 Cu、pH 及 Mn 负相关。烟叶元素浓度与根区土壤化学性质关系密切。为简明起见, 把土壤化学性质分成两组变量, 有机质、碱解 N 和 P、K、S、Ca、Mg 为一组, pH 和微量元素为一组同烟叶样品十种元素一起分别作主组分分析, 结果以 PC1-PC2 双图表示(图 2 和图 3)。可以看出: (1) 烟叶 K、P、S、Cu、B 浓度与土壤中同种元素含量正相关, 烟叶 Mg、B、P、K 浓度又分别与土壤 S、K、P、碱解 N、有机质含量正相关, 而与土壤 Ca、Mg 含量负相关。(2) 烟叶 Mn 与土壤 Mn、Ca、Mg、Cu 含量正相关, 与土壤有机质、pH、P、K、S、Fe、B、Zn 和碱解 N 负相关。(3) 烟叶 Ca、Fe、Zn 浓度与土壤中同种元素含量不相关, 甚至负相关, 如 Zn, 与土壤碱解 N、土壤 K、S、P 含量也不相关, 其中, 烟叶 Ca 与土壤 B、Fe、Zn 含量和 pH 正相关, 烟叶 Fe、Zn 浓度与土壤 Cu、Mn 含量正相关。

2.3 土壤—烤烟系统矿质营养交互作用

综上所述, 烟叶中 P、Fe、K、Cu、Zn、B 相互正相关, 同时与 Ca 呈负相关, 其中 K、P、Cu、

表6 植烟土壤化学性质

Table 6 Chemical properties of soils growing tobacco

样品 Samples	pH	有机质 OM (g kg ⁻¹)	N	S	P	K	Ca	Mg (mg kg ⁻¹)	Fe	Zn	Cu	Mn	B
Cks2	6.79	17.2	54.1	20	17.8	71	358	95.3	89.2	1.56	3.31	11.20	0.27
Cks3	6.53	16.0	55.6	41	19.2	82	389	99.1	89.9	2.16	3.48	14.28	0.26
Cks4	6.45	15.6	60.5	33	18.8	73	364	94.7	86.4	1.75	3.40	10.48	0.26
Cks6	6.33	12.9	51.0	20	17.6	41	377	82.7	98.8	1.60	3.23	5.85	0.26
Cks8	6.55	9.6	44.7	36	15.2	42	373	81.4	82.2	1.46	2.88	7.32	0.24
Cks9	6.67	15.5	58.3	29	33.5	58	366	86.4	102.0	1.77	3.74	6.69	0.30
Chs2	6.55	14.9	57.3	22	17.9	54	362	87.7	88.7	1.68	3.43	19.05	0.26
Chs3	6.35	15.3	68.9	52	19.3	75	358	86.7	79.4	1.60	3.27	18.02	0.26
Chs4	6.23	11.4	60.5	55	19.8	82	362	91.3	87.9	1.91	3.52	14.34	0.27
Chs6	6.23	10.1	41.3	14	8.1	38	390	83.4	69.6	1.22	2.81	3.98	0.28
Chs8	6.13	15.0	59.9	29	15.1	56	356	89.6	103.1	2.43	4.02	6.69	0.29
Chs9	6.42	15.8	60.5	26	18.8	65	335	91.8	107.4	2.07	4.72	8.24	0.28
Zhs2	6.39	35.6	111.0	1064	105.2	770	416	45.5	73.8	6.05	8.76	21.80	0.18
Zhs7	7.01	35.2	77.8	670	75.3	391	396	43.6	76.9	5.69	8.56	20.10	0.19
Zhs8	6.42	37.4	87.5	609	58.9	271	396	51.8	84.9	11.00	9.13	16.50	0.19
Zhs12	6.43	35.3	127.4	297	68.7	256	409	42.6	84.4	6.43	8.88	11.59	0.18
Zhs13	6.87	36.6	730.0	502	44.3	274	406	43.1	76.6	5.18	8.61	13.01	0.18
Zhs14	6.97	34.4	77.4	36	27.2	191	407	40.4	74.6	5.39	9.20	12.84	0.18
Zns5	6.54	36.8	181.5	1811	115.9	1585	364	33.6	73.4	5.75	7.61	30.80	0.18
Zns9	7.01	21.7	82.8	901	81.3	645	362	35.9	68.5	5.08	8.55	16.07	0.18
Zns10	7.07	40.2	87.1	750	75.9	439	373	38.6	72.7	5.40	8.79	14.88	0.19
Zns12	6.68	37.7	82.5	207	63.6	237	359	29.6	82.5	5.41	8.68	11.50	0.21
Zns13	6.83	22.1	72.6	248	29.4	180	372	40.2	61.8	4.90	8.71	10.36	0.16
Zns14	6.58	21.4	74.8	45	34.6	185	367	29.0	77.3	5.98	9.46	8.85	0.20
Jks2	8.24	42.9	147.6	917	67.6	1550	332	64.8	103.6	7.55	4.51	7.82	0.32
Jks4	7.08	42.3	142.7	533	138.8	466	317	60.2	121.8	4.54	3.24	5.41	0.30
Jks6	7.49	42.3	150.5	340	124.8	472	307	25.8	127.9	4.37	3.37	4.95	0.27
Jks7	6.84	42.0	140.3	238	72.7	417	303	38.9	122.1	4.33	3.48	4.73	0.26
Jks8	7.03	42.1	161.6	102	81.3	371	288	79.4	124.6	3.62	3.37	4.61	0.29
Jks9	7.70	42.1	143.5	479	54.3	1223	311	136.7	97.1	1.95	2.68	7.89	0.27
Jhs2	7.42	40.7	120.0	1498	87.5	972	304	23.2	113.9	5.42	3.65	6.30	0.29
Jhs4	7.57	44.1	139.3	541	81.3	653	313	86.8	111.2	2.62	2.73	6.80	0.29
Jhs6	7.55	41.0	138.4	254	52.0	372	300	71.0	118.0	2.04	2.87	6.19	0.29
Jhs7	6.39	40.4	137.8	166	68.7	304	302	59.5	111.1	2.15	2.72	4.68	0.26
Jhs8	7.36	38.1	157.4	177	50.9	364	282	64.2	115.8	1.80	2.69	4.37	0.24
Jhs9	7.47	39.2	144.1	100	59.2	355	297	76.5	131.3	1.95	2.86	5.21	0.28
Lhs2	5.40	17.8	333.7	1537	110.0	1095	326	27.4	55.0	3.22	6.34	34.35	0.12
Lhs3	4.93	17.5	207.4	903	76.8	865	334	27.7	52.2	2.85	6.04	34.01	0.11
Lhs4	3.63	17.9	118.6	340	24.8	459	316	42.0	38.5	2.19	5.59	31.03	0.09
Lhs7	4.77	16.5	65.9	116	10.2	277	338	45.2	30.5	1.70	4.41	25.60	0.09
Lhs9	4.29	12.9	60.5	85	6.4	185	341	42.3	27.4	1.27	3.39	20.80	0.10
Lhs10	4.23	13.7	69.6	78	7.2	223	335	46.7	26.4	1.39	3.96	15.65	0.06
Lks2	5.66	19.5	309.8	1907	135.4	1290	328	26.4	58.7	3.49	7.93	31.60	0.14
Lks3	4.61	16.9	213.0	1154	81.9	984	326	33.2	48.8	2.65	7.13	25.80	0.12
Lks4	3.30	16.4	159.5	658	38.8	585	340	52.9	42.4	2.53	6.44	29.26	0.12
Lks7	3.82	16.5	69.8	255	20.1	387	329	51.7	35.5	1.55	4.88	21.42	0.10
Lks9	4.64	13.2	58.2	112	7.3	228	336	64.3	27.5	1.26	4.16	13.40	0.07
Lks10	4.04	12.9	55.2	107	8.6	246	320	58.4	27.5	1.02	3.72	12.00	0.05
Xks3	6.56	22.9	64.5	234	18.9	239	291	214.5	55.8	0.80	9.83	3.45	0.13
Xks4	7.26	24.4	71.5	318	20.2	418	301	220.8	53.7	1.07	10.43	7.81	0.14
Xks5	6.74	20.6	171.9	390	22.7	217	252	192.1	65.8	1.58	9.54	93.30	0.18
Xks7	6.41	21.6	64.7	259	22.2	289	294	219.8	67.7	0.85	10.40	4.79	0.17
Xks8	7.27	22.8	87.4	502	23.0	521	298	212.7	59.4	1.50	10.92	11.04	0.13
Xks9	6.95	24.9	123.2	82	23.7	430	235	174.6	58.4	19.33	10.84	75.36	0.14

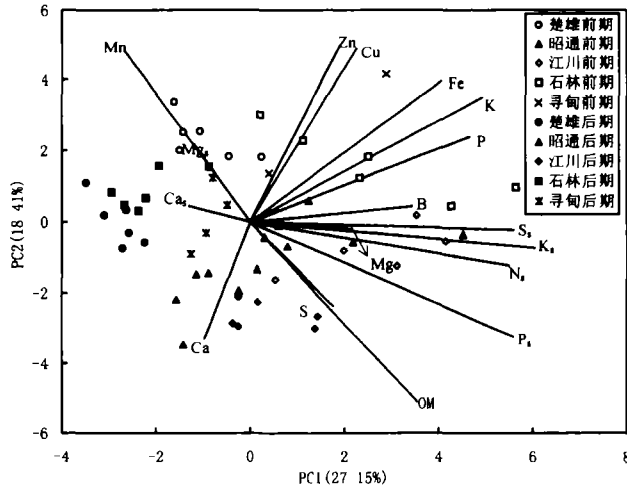


图2 烟叶中10种元素与土壤有机质和常量元素关系(s表示土壤中)

Fig.2 Relationships between 10 elements in tobacco leaves and organic matter, and major elements in soils

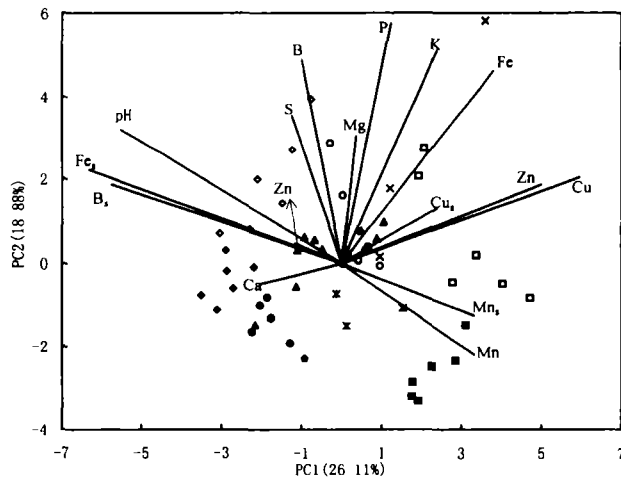


图3 烟叶中10种元素与土壤中pH和微量元素关系(图例同图2)

Fig.3 Relationships between 10 elements in tobacco leaves and pH, and trace elements in soils

B 浓度与根区土壤中同种元素含量正相关,而与土壤 Ca、Mg 含量负相关。烟叶中 S、Mg、Ca 相互正相关,并与 Mn 负相关,其中 S、Mn 与土壤 S、Mn 含量正相关。烟叶 Ca、Mg、Fe、Zn 与土壤同种元素含量关系不大,有其特异性。可以认为,土壤—烤烟系统中 P、K、Cu、B 有协同作用,而 Ca 对它们有拮抗作用;S 与 Mn 相互拮抗。

3 小 结

PCA 的特点是在不改变变量属性的前提下,把多个变量按照变量的特性组合成少数新变量。本项工作中,PCA 为我们提供了在气候、土壤、施肥、栽培、品种和生育期多种因

素影响下烟叶十种营养元素共同关系的共性信息。同时反映出烟叶元素浓度在品种间的差异,受土壤的影响和随生育期变化的规律和在不同品种、土壤、生育期表现出的相互关系的个性。证明对非控制条件下取得的实验数据,应用 PCA 方法研究土壤—烤烟矿质营养元素相互关系及交互作用是可行的。其结果可归纳如下:

(1) 烟叶矿质营养元素浓度随烤烟生育期有规律的变化,受根区土壤化学性质影响的变化大于品种间的差异。烟叶 K、P、S、Cu、B、Mn 浓度的变化与土壤中同种元素含量的变化趋于一致,与根区土壤化学性质关系密切。烟叶 Ca、Mg、Fe、Zn 与土壤同种元素含量关系不大,有其特异性。

(2) 进入旺长阶段,烤烟 P、Fe、K、Cu、Zn、B 的吸收速率开始滞后于干物质积累速度,表现出明显的稀释效应。相反烟叶 Ca、Mg 浓度随烤烟生长而上升,呈现积累效应。烟叶 S、Mn 的变化则因土壤而异。

(3) 土壤—烤烟系统中 P、K、Cu、B 有协同作用,而 Ca 对 K、P、B、Fe、Zn、Cu 有拮抗作用;S 与 Mn 相互拮抗。

(4) 较高的土壤有机质、碱解 N、有效 P、K 含量对烟叶 P、K、B、Cu 营养有利,较高的土壤 Ca 则对烟叶 P、K、B、Cu 营养不利。烤烟矿质营养的调控应着重考虑植烟土壤性质。增加土壤有机质,利用 P、K、B、Cu 的协同作用,减轻钙对 P、K、B、Cu 的拮抗,是改善烤烟营养,提高烤烟产量品质的关键之一。

另外,K 这种公认的“品质元素”对烤烟优质高产有特殊意义。造成烟叶低 K 的因素中,旺长阶段土壤有效 K、P、B 含量随烤烟生长大幅度降低和 Ca 对 K 的拮抗作用是重要原因。改善烤烟 P、B、Cu 营养能否抑制 Ca 的积累而有利于 K 的积累,值得进一步实验研究。

从烤烟根区土壤化学性质看,石林石灰岩红壤以 OM 和 pH 偏低,Mn 高 B 低为特征;寻甸山原红壤以 Mg 高 Ca 低,Cu 高 B 低为特征;楚雄紫色土以 P、K 不足,微量元素适中为特征;昭通黄壤以 Zn、Mn 和 Cu 高为特征;江川冲积红壤以 OM、pH 高,Ca 和 Mg 适中,Fe 高 Mn 低为特征。江川是优质烤烟高产产区之一,适当降低土壤 pH,这类土壤可作为优质烤烟栽培土壤的模型。其他类型土壤有机质含量低,Ca、Mn 高,B 低是烤烟栽培的土壤限制因素。烤烟施肥应针对土壤类型作调整,石林石灰岩红壤、楚雄紫色土、寻甸山原红壤应提高土壤有机质,注意纠正土壤的低 P、K、B 症状,昭通黄壤应调整高 Ca、Mn 低 Mg、B 症状。Ca、Mn 高的土壤,不宜施用石灰和含 Ca、Mn 高的磷肥。

参 考 文 献

1. 鲁如坤等著. 土壤植物营养学原理和施肥. 北京:化学工业出版社,1998. 序,3,226~232
2. 王家玉. 植物营养元素交互作用研究. 土壤学进展,1992,20(2):1~6
3. Brejda J J. Factor analysis of nutrient distribution patterns under shrub Live-Oak in two contrasting soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 1998, 62:805
4. 黄应丰,刘腾辉. 华南主要土壤类型的光谱特性与土壤分类. 土壤学报,1995,32(1):58~68
5. Wilken H, Sorge C, Schulten H R. Molecular composition and chemometric differentiation and classification of soil organic matter in Podzol B-horizons. Geoderma, 1997, 76(3&4):193~219
6. 张淑香,依艳丽,刘效义. 草河口地区土壤中重金属等元素含量的相互关系及其影响因素. 土壤学报,1999,36(2):253~260

7. 曹槐, 张晓林, 刘世熙等. 烟草及植烟土壤中钾和微量元素的关系. 何邦平主编. 微量元素研究进展(第三辑). 北京: 中国林业出版社, 1999. 5, 174~181
8. Soltanpour P N, Workman S M, Schwab A P. Use of inductively-coupled plasma spectrometry for the simultaneous determination of macro- and micro-nutrients in NH_4HCO_3 -DTPA extracts of soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1979, 43: 75~78
9. 张小林, 和丽忠, 陈锦玉等. 联合提取法与常规提取法提取土壤有效养分的相关比较. *西南农业学报*, 1993, 6(1): 101~106
10. 和丽忠, 张小林, 陈锦玉等. ICP-AES法同时测定烟草中多种元素. *西南农业学报*, 1998, 11(1): 120~122
11. Pattern Recognition Systems A/S Sirius for Windows, Ver.1.5, 1995

RELATIONSHIP BETWEEN MINERAL NUTRIENT ELEMENTS OF SOIL AND FLUE-CURED TOBACCO

Zhang Xiao-lin He Li-zhong Chen Jin-yu Fang Yong-yan

(*Biotechnology Institute of Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650223*)

Cao Huai Liu Shi-xi

(*Modern Biological Research Center of Yunnan University, Kunming 650091*)

Cheng Hui-dou Wen Yong-qin

(*Tobacco Institute of Yunnan Agricultural University, Kunming 650201*)

Zhang Xiao-hai Li Jin-pei Wang Shao-kun

(*Agricultural Institute of Yunnan Academy of Tobacco, Yuxi 653100*)

Summary

This paper deals with the interrelations and interactions of mineral nutritive elements in the soils and flue-cured tobacco system. Samples come from five typical tobacco-growing soils—plateau red soil, red calcareous soil, alluvial red soil, yellow soil and purple soil, and three varieties of tobacco—K326, Hongda and Ne82, at six growing stages. The concentrations of K, P, S, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu and B in the leaves and the nutrient contents extracted by AB/D multiple-elements extraction procedure, and pH, content of organic matter and hydrolyzable nitrogen within the root zone soil were investigated. Principal component analysis was performed using Sirius chemometrics software. The results indicated that: i) the change in concentration of nutrients in the leaves follows a regular pattern, and the variations in chemical properties of the root zone soil are more than that between the different varieties. ii) The nutrient concentrations in the leaves are dilution effect for K, P, B, Cu, and accumulation effect for Ca. iii) there is a mutual synergism among K, P, Cu and B, and an antagonism of Ca to the others in the flue-cured tobacco nutrition. iv) The key to improvement of nutrition, yield and quality of flue-cured tobacco lies in increasing organic matter content in soil and making use of the synergism of K, P, Cu and B to counteract antagonism of Ca to K, P, Cu and B.

Key words Flue-cured tobacco, Mineral nutritive element, Principal component analysis, Root section soil