

基于通径分析法的土壤性质对茶叶品质的影响研究

林绍霞¹, 张清海¹, 张珍明³, 杨鸿波¹, 文锡梅¹, 林昌虎²

(1. 贵州省分析测试研究院, 贵州 贵阳 550002; 2. 贵州科学院, 贵州 贵阳 550001; 3. 贵州大学, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 为探究土壤性质对茶叶品质的影响程度, 采用通径分析法研究了贵州省主要名优绿茶产地土壤性质对茶叶中水浸出物、茶多酚、儿茶素、咖啡碱的直接和间接效应。研究结果表明, 土壤性质与茶叶品质之间的相关性不明显, 土壤对茶叶品质影响程度表现为: 咖啡因 > 儿茶素 > 水浸出物 > 茶多酚, 决定系数分别为: 0.854, 0.830, 0.787 和 0.705, 剩余项系数分别为: 0.382, 0.412, 0.462 和 0.543, 土壤性质能表达影响茶叶品质众多因素中 50% 以上的信息。

关键词: 通径系数; 土壤性质; 茶叶品质

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2013)04-0189-06

中图分类号: S158

Effects of Soil Properties on Tea Quality Based on Path Analysis Method

LIN Shao-xia¹, ZHANG Qing-hai¹, ZHANG Zhen-ming³, YANG Hong-bo¹, WEN Xi-mei¹, LIN Chang-hu²

(1. Guizhou Academy of Testing and Analysis, Guiyang, Guizhou 550002, China;

2. Guizhou Academy of Sciences, Guizhou, Guiyang 550001, China; 3. Guizhou University, Guizhou, Guiyang 550025, China)

Abstract: In order to study the impacts of soil properties on the quality of tea, path analysis method was used to analyze the direct and indirect effects of soil properties on water extracts, polyphenols, catechins and caffeine of tea in the main region of famous green tea-producing area in Guizhou Province. The results showed that there was no significant correlation between the soil properties and quality of tea. The impact of soil on quality of tea was caffeine > catechins > water extracts > polyphenols, the determinative coefficients were 0.854, 0.830, 0.787 and 0.705, respectively, and the residual coefficients were 0.382, 0.412, 0.462 and 0.543, respectively. The results also showed that soil properties could express more than 50% factors that influence tea quality.

Keywords: path analysis; soil property; tea quality

在研究多个变量之间的关系时, 通常采用多元回归分析与相关分析, 但回归与相关分析的应用具有一定的局限性, 在原因变量间关系彼此独立时能有效地判定变量间的关系^[1]。然而在实际应用中, 各变量之间往往交互地对结果变量产生作用, 相关系数仅能描述各变量之间的相关程度, 对原因变量交互作用影响结果变量的程度却不能判断, 偏相关系数的大小在回归分析中仅能反映具有不同计量单位的原因变量对结果变量的影响程度^[2]。

通径分析把各相关系数进一步的剖分, 通过直接通径系数、间接通径系数及总通径系数分别表示原因变量对结果变量的直接作用、间接作用和综合作用。通径系数是原因变量与结果变量之间带有方向性的

相关系数, 又是变量标准化的不带单位的偏回归系数^[3]。通过通径分析, 不仅可以明确各原因变量对结果变量的直接作用的方向与大小, 而且还能明确相关变量之间共同对结果变量作用的方向和大小, 这是简单相关分析和回归分析无法达到的^[4]。通径分析最早应用遗传育种方面的研究, 作为一个有力的统计工具, 已扩展到农业科学的各个领域, 目前在土壤性质研究中亦逐渐将其引入^[5-9]。土壤作为茶树赖以生长的物质基础, 土壤物理性状、各种营养元素的丰缺直接影响茶树的生长和茶叶生化成分的形成, 从而影响茶叶品质^[10]。为此, 引入通径分析来探究土壤性状对茶叶品质的相关性, 为正确评价土壤性质对茶叶品质的影响提供科学依据。

收稿日期: 2012-07-06

修回日期: 2012-09-17

资助项目: 贵州省农业科技攻关计划项目“基于 3S 技术的贵州茶园土地适宜性评价与茶叶质量体系研究”[黔科合 NY 字(2008)3024 号], “贵州乌王名优茶叶质量体系研究”[黔科合 NY 字(2009)3021 号]; 贵州科学院青年基金项目[黔科院 J 合字(2010)011 号]

作者简介: 林绍霞(1983—), 女(汉族), 贵州省贵阳市人, 硕士, 助理研究员, 主要从事环境污染与防治研究。E-mail: linsx112233@sina.com。
通信作者: 林昌虎(1961—), 男(汉族), 贵州省贵阳市人, 研究员, 硕士生导师, 主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail: linchanghu@tom.com。

1 材料与方

1.1 供试样本

供试样本采集于贵州省主要名优绿茶产地,包括都匀毛尖茶、湄潭翠芽、凤岗锌硒茶、贵定云雾贡茶主产地,于 2011 年清明前夕采用 GPS 定位技术采集茶

产地土壤样本及茶叶样本,每个土壤样本以多点混合(至少 5 点)的方式采集表层(0—20 cm)土壤,采集样品时先去掉土壤表层覆盖的枯枝落叶腐殖质,用木铲取土。

茶叶样本采集当年新生幼芽(2 叶 1 芽),与土壤采样点相对应,供试样本信息详见表 1—2。

表 1 研究区供试茶叶品质特征

编号	采样地点	水浸出物 (Y_1)/%	茶多酚 (Y_2)/%	儿茶素(Y_3)/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	咖啡碱 (Y_4)/%
1	贵定县云雾镇中心茶场	17.07	23.57	131.89	3.46
2	贵定县云雾镇中心茶场	39.09	20.67	170.63	3.58
3	贵定县云雾镇水利厅茶场	43.12	26.41	349.78	3.38
4	贵定县云雾镇方家茶场	39.39	10.04	171.76	3.46
5	贵定县云雾镇洗里冲茶场	41.98	25.32	167.38	3.54
6	贵定县云雾镇鸟王村	43.12	26.41	349.78	3.38
7	贵定县云雾镇鸟王村	44.32	27.40	315.15	3.49
8	贵定县云雾镇高寨村	6.08	4.98	264.86	3.34
9	贵定县云雾镇供茶碑	19.02	6.29	302.15	3.18
10	贵定县岩下乡梨山村茶山组斗篷山	5.66	5.21	282.10	3.20
11	都匀市螺丝壳供销社茶场	38.77	23.51	148.12	2.77
12	都匀市螺丝壳供销社茶场	37.98	24.19	309.80	2.80
13	都匀市高寨水库茶场	40.14	20.79	150.00	2.85
14	都匀市小围寨镇茶农村哨上组茶场	37.45	19.83	187.38	3.16
15	都匀市小围寨镇茶农村黄河组茶场	39.62	21.21	114.06	3.20
16	遵义市凤冈县何坝乡水何村茶场	34.81	20.72	106.62	3.28
17	遵义市湄潭县永新茶场	36.51	20.66	144.60	3.50
18	遵义市湄潭县茶科所茶场	11.38	16.62	173.60	3.04

表 2 研究区供试土壤的主要化学性质

编号	pH (X_1)	有机质 (X_2)/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全氮 (X_3)/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	碱解氮 (X_4)/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效磷 (X_5)/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效钾 (X_6)/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效铁 (X_7)/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效锰 (X_8)/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效铜 (X_9)/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效锌 (X_{10})/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效铝 (X_{11})/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效硼 (X_{12})/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
1	4.29	61.38	2.02	214.60	74.60	117.72	63.15	2.34	0.20	2.21	0.01	0.15
2	4.38	85.91	3.58	349.49	34.22	184.44	68.85	7.17	0.22	6.09	0.06	0.39
3	4.68	89.72	3.86	223.80	67.99	360.61	141.10	7.84	0.26	5.32	0.07	0.39
4	4.58	74.68	2.94	199.27	83.03	299.95	94.90	7.43	0.74	2.59	0.03	0.16
5	4.32	50.11	1.84	171.04	25.13	50.78	156.35	9.63	1.12	2.25	0.02	0.16
6	4.41	30.30	1.15	122.81	61.59	30.11	119.85	1.62	0.82	2.43	0.01	0.54
7	5.14	47.92	1.82	228.35	23.98	17.28	73.10	24.22	1.08	3.98	0.02	0.40
8	5.42	62.21	2.03	228.84	10.96	14.75	120.55	39.99	1.46	7.25	0.02	0.21
9	5.06	58.34	2.32	236.10	19.97	34.58	206.20	26.89	1.55	9.54	0.02	0.22
10	4.70	31.44	2.11	217.83	18.06	113.50	147.45	136.80	3.04	9.82	0.04	0.22
11	4.93	75.91	2.92	251.39	83.23	303.93	110.25	15.25	0.18	7.15	0.03	0.57
12	4.76	89.98	3.42	283.58	87.72	350.73	110.55	12.54	0.19	6.70	0.04	0.21
13	5.42	49.33	1.97	150.22	25.43	101.78	100.45	19.42	0.19	42.66	0.02	0.62
14	4.59	45.28	2.90	272.85	29.92	247.17	42.19	104.05	2.13	5.94	0.07	0.34
15	4.33	59.64	3.24	265.18	130.80	251.15	60.75	64.45	1.88	4.34	0.05	0.15
16	5.02	34.26	1.93	137.96	31.04	91.83	23.38	150.90	1.26	3.46	0.08	0.17
17	5.50	36.95	1.98	174.75	115.81	105.77	12.71	181.30	2.94	5.25	0.09	0.52
18	4.17	57.92	3.21	309.64	40.47	143.61	42.15	151.55	1.13	4.23	0.08	0.34

1.2 样本测试方法

对土壤样品中的主要肥力质量指标进行分析测试^[11]。pH 值采用水土比 2.5 : 1 测定;有机质含量采用 K₂CrO₇—H₂SO₄ 外加热法测定,碱解氮含量采用碱解扩散法测定;速效磷含量在 pH ≥ 6.5 采用 NaHCO₃ 浸提,pH < 6.5 采用 NH₄F—HCl 浸提,钼锑抗比色法测定;速效钾含量采用 NH₄OAc 浸提,火焰光度计法;土壤有效态矿质元素含量采用 0.1 mol/L HCl 浸提—电感耦合等离子体质谱仪测定^[12]。

茶叶品质指标法^[13]测定:水浸出物采用 GB/T8305—2002 标准;茶多酚、儿茶素采用 GB/T8313—2008 标准;咖啡碱采用 GB/T8312—2002 标准。

1.3 通径分析的原理及方法

1.3.1 通径系数求解 通径系数分析法最早是由 Sewall Wright 提出^[8],将相关系数分解为直接作用和间接作用,揭示各因素对结果的相对重要性。

对于一个相互关联的系统,有一个因变量 y 与 n 个自变量 $x_i (i=1, 2, 3, \dots, n)$ 间存在线性关系,回归方程表示为:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (1)$$

将实际观测值代入公式(1)中,利用最小二乘法原理解方程组,即可求得通径系数 P_{yx_i} 。公式(1)通过数学变换,可建立正规矩阵方程:

$$\begin{bmatrix} 1 & r_{x_1x_2} & \dots & r_{x_1x_n} \\ r_{x_2x_1} & 1 & \dots & r_{x_2x_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{x_nx_1} & r_{x_nx_2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} p_{yx_1} \\ p_{yx_2} \\ \vdots \\ p_{yx_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{x_1y} \\ r_{x_2y} \\ \vdots \\ r_{x_ny} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: r_{x_iy} —— x_i 和 y 的简单相关系数; $r_{x_ix_j}$ —— x_i 和 x_j 的简单相关系数。解方程(2)即可求通径系数 p_{yx_i} 即为:

$$p_{yx_i} = b_i \frac{\sigma_{x_i}}{\sigma_y} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

式中: b_i —— y 对 x_i 的偏回归系数; σ_{x_i}, σ_y —— x, y 的标准差。 p_{yx_i} —— x_i 对 y 的直接通径系数,用 $r_{x_ix_j} p_{yx_i}$ 表示 x_i 通过 x_j 对 y 的间接通径系数。而剩余项的通径系数 p_{yw} 表示为:

$$p_{yw} = \sqrt{1 - (r_{x_1y}p_{yx_1} + r_{x_2y}p_{yx_2} + \dots + r_{x_ny}p_{yx_n})} \quad (i, j=1, 2, \dots, n, i < j)$$

若 p_{yw} 数值较大,则表明误差较大或者还有另外更重要的因素为考虑在内。

1.3.2 决定系数求解 决定系数是通径系数的平方,及 $D_{yx_i} = (p_{yx_i})^2$, 分别表示原因对结果的相对决定程度, $D_{yx_ix_j}$ 表示两相关原因(x_i, x_j)共同对 y 的相对决定系数。

当 $i=j$ 时, $D_{yx_ix_j} = (P_{yx_i})^2$

当 $i \neq j$ 时, $D_{yx_ix_j} = 2P_{yx_i} \times P_{yx_j} \times r_{x_ix_j}$
($i, j=1, 2 \dots n, i < j$)。

1.4 数据处理

将茶叶中主要生化成分水浸出物、茶多酚、儿茶素、咖啡碱作为考察茶叶品质的特征变量,土壤主要营养成分指标与矿质元素指标的有效态作为茶叶品质的影响因素。采用 SPSS 15.0 对自变量(X)与因变量(Y)进行相关性分析及回归分析,进而计算通径系数(p_{yx_i})和决定系数($D_{yx_ix_j}$)。

2 结果与讨论

2.1 茶叶品质特征及其与土壤性状的相关性

表 1 数据显示,供试 18 个茶叶样本中,儿茶素的含量范围为 106.62 ~ 349.78 mg/kg,平均值为 213.31 mg/kg,样本间含量的差异性在所考察的 4 项品质指标中最大,标准偏差为 84.35%,水浸出物平均值为 31.97%,样本间标准偏差为 13.39%,茶多酚平均含量为 19.10%,标准偏差为 7.44%;咖啡碱含量范围为 2.77~3.58%,平均值为 3.25%。

土壤性质与茶叶品质简单相关性分析显示,除土壤中有有效铁与儿茶素间稍有相关性外(相关系数为 0.599),其余各项指标与土壤性质之间的均不存在明显相关性(表 3),难以通过相关分析判断出土壤性质对茶叶品质的影响。通径分析法对土壤性质与茶叶品质影响的研究结论看,表 5 所示,4 项茶叶指标的剩余项系数分别为:0.462,0.543,0.412 和 0.382,土壤对茶叶品质影响程度表现为:咖啡因 > 儿茶素 > 水浸出物 > 茶多酚,土壤性质可表达影响茶叶品质众多因素中 50% 以上的信息。

2.2 土壤性状对茶叶水浸出物的影响特征

将表 3 中土壤性质与茶叶品质间相关系数带入方程(2),求解得其变量间直接通径系数和间接通径系数(表 4)。由表 4 中土壤理化性质对茶叶品质的直接通径系数比较看,土壤理化性质对茶叶品质的直接影响程度表现为:有效锰 > 有效钾 > pH 值 > 有效铁 > 有效钼 > 有机质 > 有效锌 > 有效硼 > 有效铜 > 碱解氮 > 有效磷 > 全氮。土壤有效锰、速效钾对茶叶水浸出物的直接通径系数最大,它们通过其他因素作用的间接通径系数总和也大,说明土壤中有有效锰、速效钾含量是茶叶水浸出物的关键影响因子,直接表现在它们与水浸出物的相关系数最大。有效铜、有机质对水浸出物的直接通径系数不大,但是它们通过其他因素的间接对水浸出物其作用,亦认为是影响茶叶水浸出物的主要因素。pH 值、有效铁虽对水浸出物的直接通径系数较大,但它们的直接作用被其通过其他因

素的反相间接作用所抵消,说明 pH 值与有效铁不是 效磷等对水浸出物的直接通径系数很小,均是通过与
水浸出物的主要影响因素。土壤中全氮、碱解氮、有 其他因素联合作用产生间接影响。

表 3 研究区土壤性质与茶叶品质相关系数

项目	pH 值	有机质	全氮	碱解氮	有效磷	速效钾	有效铁	有效锰	有效铜	有效锌	有效钼	有效硼
pH 值(X_1)	1.000											
有机质(X_2)	-0.194	1.000										
全氮(X_3)	-0.337	0.804	1.000									
碱解氮(X_4)	-0.351	0.611	0.765	1.000								
有效磷(X_5)	0.064	0.443	0.385	0.118	1.000							
速效钾(X_6)	-0.282	0.694	0.837	0.428	0.574	1.000						
有效铁(X_7)	0.016	0.193	-0.068	-0.098	0.109	-0.096	1.000					
有效锰(X_8)	0.176	-0.555	-0.089	-0.031	-0.205	-0.151	-0.540	1.000				
有效铜(X_9)	0.205	-0.649	-0.276	-0.110	-0.323	-0.310	-0.139	0.751	1.000			
有效锌(X_{10})	0.475	-0.078	-0.118	-0.205	-0.051	-0.097	0.138	-0.091	-0.166	1.000		
有效钼(X_{11})	-0.011	-0.003	0.464	0.271	0.063	0.341	-0.601	0.736	0.352	-0.187	1.000	
有效硼(X_{12})	0.358	-0.103	-0.113	-0.144	0.369	-0.019	-0.122	-0.027	-0.172	0.469	0.064	1.000
水浸出物(Y_1)	-0.025	0.165	0.124	-0.190	0.255	0.341	-0.161	-0.348	-0.354	0.032	0.062	0.374
茶多酚(Y_2)	-0.229	0.107	0.045	-0.106	0.269	0.212	-0.320	-0.256	-0.459	-0.093	0.073	0.373
儿茶素(Y_3)	0.095	0.100	-0.047	-0.014	-0.063	-0.072	0.599	-0.320	-0.044	-0.099	-0.292	0.101
咖啡碱(Y_4)	-0.167	-0.162	-0.242	-0.167	-0.378	-0.366	-0.106	-0.045	0.188	-0.492	0.016	-0.255

表 4 土壤性质对茶叶品质通径系数

项目	pH	有机质	全氮	碱解氮	有效磷	速效钾	有效铁	有效锰	有效铜	有效锌	有效钼	有效硼	
水 浸 出 物	X_1	0.268*	0.027	0.002	0.008	-0.001	-0.145	-0.004	-0.173	0.007	-0.043	-0.002	0.023
	X_2	-0.052	-0.141*	-0.004	-0.013	-0.008	0.355	-0.045	0.546	-0.023	0.007	-0.001	-0.007
	X_3	-0.090	-0.113	-0.005*	-0.017	-0.007	0.428	0.016	0.087	-0.010	0.011	0.084	-0.007
	X_4	-0.094	-0.086	-0.004	-0.022*	-0.002	0.219	0.023	0.031	-0.004	0.019	0.049	-0.009
	X_5	0.017	-0.063	-0.002	-0.003	-0.019*	0.294	-0.025	0.202	-0.012	0.005	0.011	0.024
	X_6	-0.076	-0.098	-0.004	-0.009	-0.011	0.512*	0.022	0.148	-0.011	0.009	0.062	-0.001
	X_7	0.004	-0.027	0.000	0.002	-0.002	-0.049	-0.232*	0.531	-0.005	-0.013	-0.109	-0.008
	X_8	0.047	0.078	0.000	0.001	0.004	-0.077	0.125	-0.984*	0.027	0.008	0.134	-0.002
	X_9	0.055	0.092	0.001	0.002	0.006	-0.159	0.032	-0.739	0.036*	0.015	0.064	-0.011
	X_{10}	0.127	0.011	0.001	0.005	0.001	-0.050	-0.032	0.089	-0.006	-0.091*	-0.034	0.030
	X_{11}	-0.003	0.000	-0.002	-0.006	-0.001	0.175	0.139	-0.724	0.013	0.017	0.182*	0.004
	X_{12}	0.096	0.014	0.001	0.003	-0.007	-0.010	0.028	0.027	-0.006	-0.043	0.012	0.065*
茶 多 酚	X_1	-0.218*	0.089	0.107	-0.147	0.016	-0.133	-0.004	-0.067	-0.056	0.041	-0.004	-0.002
	X_2	0.042	-0.459*	-0.255	0.257	0.109	0.327	-0.043	0.212	0.176	-0.007	-0.001	0.001
	X_3	0.073	-0.369	-0.316*	0.322	0.095	0.394	0.015	0.034	0.075	-0.010	0.179	0.001
	X_4	0.076	-0.281	-0.242	0.420*	0.029	0.202	0.022	0.012	0.030	-0.018	0.105	0.001
	X_5	-0.014	-0.203	-0.122	0.050	0.246*	0.270	-0.024	0.078	0.088	-0.004	0.024	-0.002
	X_6	0.062	-0.318	-0.265	0.180	0.141	0.471*	0.021	0.058	0.084	-0.008	0.132	0.000
	X_7	-0.004	-0.088	0.022	-0.041	0.027	-0.045	-0.221*	0.206	0.038	0.012	-0.232	0.001
	X_8	-0.038	0.255	0.028	-0.013	-0.050	-0.071	0.119	-0.382*	-0.204	-0.008	0.284	0.000
	X_9	-0.045	0.298	0.087	-0.046	-0.079	-0.146	0.031	-0.287	-0.271*	-0.014	0.136	0.001
	X_{10}	-0.104	0.036	0.037	-0.086	-0.012	-0.046	-0.031	0.035	0.045	0.087*	-0.072	-0.003
	X_{11}	0.002	0.002	-0.147	0.114	0.016	0.161	0.133	-0.281	-0.095	-0.016	0.386*	0.000
	X_{12}	-0.078	0.047	0.036	-0.060	0.091	-0.009	0.027	0.010	0.047	0.041	0.025	-0.006*
儿 茶 素	X_1	0.850*	0.036	-0.186	0.039	-0.063	-0.123	0.016	0.093	-0.157	-0.099	0.010	0.297
	X_2	-0.165	-0.185*	0.443	-0.068	-0.436	0.303	0.188	-0.293	0.496	0.016	0.003	-0.085
	X_3	-0.286	-0.149	0.551*	-0.085	-0.379	0.365	-0.067	-0.047	0.211	0.025	-0.406	-0.094

续表 4

儿茶素	X ₄	-0.298	-0.113	0.421	-0.111*	-0.116	0.187	-0.096	-0.017	0.084	0.043	-0.237	-0.119	
	X ₅	0.054	-0.082	0.212	-0.013	-0.984*	0.251	0.106	-0.108	0.247	0.010	-0.055	0.306	
	X ₆	-0.240	-0.128	0.461	-0.048	-0.564	0.437*	-0.094	-0.079	0.237	0.020	-0.298	-0.016	
	X ₇	0.014	-0.036	-0.038	0.011	-0.107	-0.042	0.977*	-0.285	0.106	-0.029	0.525	-0.101	
	X ₈	0.149	0.103	-0.049	0.003	0.202	-0.066	-0.527	0.528*	-0.573	0.019	-0.643	-0.022	
	X ₉	0.174	0.120	-0.152	0.012	0.318	-0.136	-0.136	0.396	-0.764*	0.034	-0.307	-0.142	
	X ₁₀	0.404	0.014	-0.065	0.023	0.050	-0.042	0.135	-0.048	0.127	-0.908*	0.164	0.389	
	X ₁₁	-0.010	0.001	0.256	-0.030	-0.062	0.149	-0.587	0.388	-0.268	0.039	-0.874*	0.053	
	X ₁₂	0.304	0.019	-0.062	0.016	-0.363	-0.008	-0.119	-0.014	0.131	-0.097	-0.056	0.830*	
	咖啡碱	X ₁	-0.442*	-0.020	0.024	0.246	-0.002	0.019	-0.008	-0.058	0.036	-0.078	-0.009	0.008
		X ₂	0.086	0.104*	-0.057	-0.429	-0.011	-0.046	-0.100	0.185	-0.114	0.013	-0.003	-0.002
		X ₃	0.149	0.084	-0.070*	-0.536	-0.010	-0.056	0.035	0.029	-0.048	0.019	0.384	-0.003
X ₄		0.155	0.064	-0.054	-0.701*	-0.003	-0.028	0.051	0.010	-0.019	0.034	0.224	-0.003	
X ₅		-0.028	0.046	-0.027	-0.083	-0.025*	-0.038	-0.056	0.068	-0.056	0.008	0.052	0.009	
X ₆		0.125	0.072	-0.059	-0.300	-0.014	-0.067*	0.050	0.050	-0.054	0.016	0.282	0.000	
X ₇		-0.007	0.020	0.005	0.069	-0.003	0.006	-0.518*	0.180	-0.024	-0.023	-0.497	-0.003	
X ₈		-0.078	-0.058	0.006	0.022	0.005	0.010	0.280	-0.333*	0.131	0.015	0.608	-0.001	
X ₉		-0.091	-0.068	0.019	0.077	0.008	0.021	0.072	-0.250	0.175*	0.027	0.291	-0.004	
X ₁₀		-0.210	-0.008	0.008	0.144	0.001	0.006	-0.072	0.030	-0.029	-0.164*	-0.155	0.011	
X ₁₁		0.005	0.000	-0.033	-0.190	-0.002	-0.023	0.311	-0.245	0.061	0.031	0.827*	0.002	
X ₁₂		-0.158	-0.011	0.008	0.101	-0.009	0.001	0.063	0.009	-0.030	-0.077	0.053	0.024*	

注: * 为直接通径系数; X₁, ..., X₁₂ 表示意义详见表 3, 下同。

2.3 土壤性状对茶叶茶多酚的影响

所考察的几项土壤性质对茶多酚的直接影响关系表现为:速效钾>有机质>碱解氮>有效铝>有效锰>全氮>有效铜>有效磷>有效铁>土壤 pH 值>有效锌>有效硼。速效钾通过直接作用对茶多酚有较大影响,同时通过其他因素的间接作用所产生的综合影响亦是最大的($\sum P_{sr_i} = 0.557$),说明土壤中速效钾是影响茶叶茶多酚的主要因素。全氮、有效磷、有效铜对茶多酚的直接通径系数虽然不是很大,但是它们通过其他因素的间接通径系数对茶多酚产生明显的综合影响,也认为是茶多酚的主要影响因素之一。土壤有机质、碱解氮对茶多酚的直接影响仅次于速效钾的直接影响,但在通过其他因素的间接影响联

合作用下,土壤有机质和碱解氮对茶多酚的综合影响若于全氮和有效磷产生的影响,土壤有效锰产生直接影响被其与他因素产生的反相间接作用所抵消,对茶多酚影响不明显。土壤有效硼、有效锌产生的影响无论是直接性的还是间接性的均不明显。说明土壤中有效锰、有效硼、有效锌不是影响茶多酚的关键因素。总体上分析,土壤性质多茶多酚的影响从直接效应和间接效应都达不到极显著水平,从表 5 中各项土壤性质对茶多酚的综合决定系数也可以看出,所考察的 12 项土壤性质多茶多酚的决定系数为 0.705,剩余项系数为 0.543,说明土壤性质仅能表达影响茶多酚众多因素中约 50% 的信息。

表 5 土壤性质对茶叶品质的决定系数

项目	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	综合决定系数
水浸出物	0.072	0.020	0.000	0.000	0.000	0.262	0.054	0.967	0.001	0.008	0.033	0.004	0.787
次序	3	6	12	10	11	2	4	1	9	7	5	8	
茶多酚	0.048	0.211	0.100	0.177	0.060	0.222	0.049	0.146	0.074	0.008	0.149	0.000	0.705
次序	10	2	6	3	8	1	9	5	7	11	4	12	
儿茶素	0.722	0.034	0.303	0.012	0.967	0.191	0.955	0.278	0.583	0.459	0.764	0.689	0.830
次序	4	11	8	12	1	10	2	9	6	7	3	5	
咖啡碱	0.196	0.011	0.005	0.492	0.001	0.004	0.268	0.111	0.031	0.027	0.683	0.001	0.854
次序	4	8	9	2	11	10	3	5	6	7	1	12	

2.4 土壤性状对茶叶儿茶素影响特征

表 4 结果显示,土壤性状对儿茶素的直接途径系数除速效钾(0.437)、有机质(0.185)、碱解氮(0.111)外,均在 0.5 以上,尤其是有效铁、有效锌对儿茶素的直接影响最大,直接途径系数分别达到 0.984 和 0.908,直接表现在它们与儿茶素的相关系数上,两者与儿茶素间的相关系数大于其他因素,此外,两者通过其他因素产生的间接途径系数之和也是最大(0.997,0.942),说明土壤中有有效铁和有效锌的含量是儿茶素的主要影响因素,而有效磷对儿茶素的直接途径系数较大,但其与儿茶素的相关系数却小,分析其通过其他因素对儿茶素的间接途径系数可知,其直接效应被反相间接效应抵消,因此有效磷不作为儿茶素的主要影响因子。有机质、速效钾、碱解氮通过其他因素产生的间接影响之和也小,亦不认为他们对儿茶素其关键影响作用。pH 值、有效锰、有效铝对儿茶素的直接影响不大,但在其他因素的作用下,其产生的间接影响却明显,因此认为也是儿茶素的主要影响因素。土壤性质对儿茶素的影响大多通过直接作用产生明显效应,直接途径系数较大,在各指标之间相互作用下,土壤性质对儿茶素的决定系数为 0.830,剩余项系数为 0.412,可见土壤性质对儿茶素的影响其重要作用。

2.5 土壤性状对茶叶咖啡碱影响特征

表 5 中数据显示,土壤性质对茶叶咖啡碱的决定系数为所考察的 4 项茶叶指标中最大(0.854),剩余项系数为 0.382,说明土壤性质对茶叶中咖啡碱形成起决定性作用。表 4 中直接途径系数结果表明,各项土壤性质对咖啡碱的直接作用不是特别显著,在相反的两个方向上基于平衡,其中有效铝的直接途径系数为 0.827,为最大值,有效铝、有效铁在直接影响和间接影响上都最大,说明它们可作为咖啡碱的主要影响因素。有效锰的直接途径系数不大,但是在其他因子的作用下产生明显的间接效应,亦作为主要影响因素考虑。全氮、有效磷、速效钾、有效硼的直接途径系数和间接途径系数都很小,说明它们对咖啡碱的形成不产生明显效应。pH 值、碱解氮、有效铜、有效锌对咖啡碱的影响作用相当,在咖啡碱形成中不是关键性因素,通过其他因素产生的间接效应亦不明显。

3 结论

(1) 茶树为多年生经济作物,茶叶品质受土壤物理性质影响很大,探讨土壤性质对茶叶品质的影响,有助于茶产业发展中通过改善土壤性状来提高茶叶的产量。影响茶叶品质的土壤性质指标多样,且存在相互作用,从简单相关分析上未表现出明显相关性。

途径分析法分析结果表明土壤性质在影响茶叶品质的众多因素中表达了 50% 以上的信息。

(2) 就土壤性质对茶叶品质的直接影响而言,土壤中有有效锰、速效钾直接或间接地对茶叶中水浸出物产生影响,茶多酚的主要影响因素为速效钾,土壤中的有效铁和有效锌对儿茶素的直接影响最大,有效铝对咖啡碱的直接途径系数较其他因素都大。

(3) 土壤性质不但能直接影响茶叶品质,同时亦可通过其他因素间接地对茶叶品质产生效应,途径系数法分析结果表明,土壤中有有效铜、有机质可以通过其他因素间接作用于水浸出物,有效磷、有效铜、全氮对茶多酚的作用是间接性的,pH 值、有效锰、有效铝间是对儿茶素产生间接作用的主要影响因素,咖啡碱的最明显的间接影响因子为有效锰。

[参 考 文 献]

- [1] 赵益新,赵珂,沈庆航.多因素主成分分析及其在生态环境研究中的应用[J].西南民族大学学报:自然科学版,2008,34(2):203-206.
- [2] 赵益新,陈巨东.途径分析模型及其在生态因子决定程度研究中的应用[J].四川师范大学学报:自然科学版,2007,30(1):120-123.
- [3] 张淮,孙君艳.途径分析新探索[J].河北农业科学,2008,12(4):1-3,11.
- [4] 敬艳辉,刑留伟.途径分析及其应用[J].统计教育,2006(2):24-26.
- [5] 张为政.土壤磷组分的途径分析及其相对有效性[J].土壤学报,1991,28(4):417-425.
- [6] 魏婉玲,程积民,高阳,等.渭北旱塬区不同立地条件对紫花苜蓿产量的影响与途径分析[J].水土保持通报,2010,30(5):73-78.
- [7] 骆伯胜,钟继红,谭军,等.途径分析在赤红壤物理退化机理研究中的应用[J].热带亚热带土壤科学,1998,7(2):172-177.
- [8] 刘广深,徐冬梅,许中坚.用途径分析法研究土壤水解酶活性与土壤性质的关系[J].土壤学报,2003,40(5):756-762.
- [9] 林桂林,周琼华,蔡开地.土壤系统起始熵相关变量的途径分析[J].土壤通报,2005,36(2):280-282.
- [10] 梁远发,田永辉,王国华,等.乌江流域茶园土壤理化性状对茶叶品质影响的研究[J].中国农学通报,2003,19(3):44-46.
- [11] 杜森,高祥照.土壤分析技术规范[M].北京:中国农业出版社,2006.
- [12] 刘凤枝.农业环境监测实用手册[M].北京:中国标准出版社,2001.
- [13] 中国标准出版社第一编辑室.茶叶标准汇编[M].北京:中国标准出版社,2008.