

郑淑琳, 石玉涛, 叶乃兴, 等. 61 份茶树种质资源矿质元素多样性分析[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(18): 143–150.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.18.022

61 份茶树种质资源矿质元素多样性分析

郑淑琳^{1,2}, 石玉涛¹, 叶乃兴², 张群峰³, 王飞权¹, 李远华¹, 张 渤¹, 吴邦强⁴

(1. 武夷学院茶与食品学院/茶叶福建省高校工程研究中心/武夷学院茶叶科学研究所, 福建武夷山 354300;

2. 福建农林大学园艺学院, 福建福州 350002; 3. 中国农业科学院茶叶研究所, 浙江杭州 310008;

4. 福建省武夷山生物研究所, 福建武夷山 354300)

摘要:为明确茶树种质资源矿质元素含量的多样性, 采用等离子体发射光谱仪法测定 61 份茶树种质中 18 种矿质元素含量, 并进行相关性分析、主成分分析和聚类分析。结果表明, 18 种矿质元素含量具有丰富的多样性, 变异系数为 15.27%~69.65%, 遗传多样性指数为 1.58~2.18; P、S、Ca、Mg、Mn、Zn、Cu、Ba、B、Se 等 10 种元素含量呈正态分布, K、Al、Fe、Na、Ti、Ni、Cr、Co 等 8 种元素含量呈正偏态分布; 主成分分析将 18 个矿质元素含量指标归纳为 6 个主成分, 反映了 18 种矿质元素 77.722% 的信息, 通过主成分综合得分筛选出 10 份矿质元素含量较高的茶树种质; 聚类分析将 61 份茶树种质资源分为 5 个类群, 结合主成分分析结果, 可将第 I 类群的黄山种、湘妃翠、早白尖 5 号、鄂茶 5 号、云抗 10 号、浙农 113、福云 10 号等优先作为茶树新品种选育的种质材料。

关键词:茶树; 种质资源; 矿质元素; 多样性; 主成分分析; 聚类热图分析

中图分类号:S571.102.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)18-0143-08

茶是世界上最受欢迎的三大天然饮料之一。茶叶因含有多种营养成分和具有抗氧化、降血糖、

降血脂等保健功效, 被誉为 21 世纪最具生命力的健康饮料^[1]。茶树是重要的经济作物之一, 我国茶园面积和茶叶产量均居世界首位, 茶产业已成为我国重要的扶贫和富民产业^[2]。茶树种质资源是茶树品种改良和新产品开发的物质基础, 是保障种业安全的战略性资源。我国是茶树的起源地, 茶树种植区域广阔, 种质资源异常丰富^[3]。遗传多样性是决定物种发生、进化、选择、重组和创新的物质基础。开展植物种质资源遗传多样性研究, 有助于把握植物种质资源收集和保存的方向, 明确不同类型间的亲缘关系, 构建核心种质库, 开发利用种质的优良特性^[4]。相关学者从农艺性状^[5]、品质性状^[6]、分子标记^[7]等方面对茶树种质资源的遗传多样性进行了研究。牛素贞等对 144 份贵州省古茶树种质资

收稿日期: 2021-10-11

基金项目: 福建省中青年教育科研项目(编号: JAT200675、JAT190800); 武夷学院科研基金(编号: XL201801); 福建省大学生创新创业训练计划(编号: 201910397076); 茶学福建省高校重点实验室开放课题(编号: KLTS2018003); 福建省 2011 协同创新中心-中国乌龙茶产业协同创新中心专项(编号: 闽教科[2015]75 号); 福建省科技厅科技创新平台项目(编号: 2018N2004); 福建省属公益类科研院所专项(编号: 2020R1008002); 福建省一流本科专业(茶学)建设项目(编号: SJZY201904)。

作者简介: 郑淑琳(1986—), 女, 福建三明人, 硕士, 实验师, 主要从事茶树种质资源与茶叶品质化学研究。E-mail: zsl@wuyiu.edu.cn。通信作者: 石玉涛, 硕士, 副教授, 主要从事茶树种质资源与茶叶品质化学研究, E-mail: ytshi@wuyiu.edu.cn; 叶乃兴, 硕士, 教授, 主要从事茶树栽培育种与品质化学研究, E-mail: ynxtea@126.com。

and inter species relationship between wild and cultivated yams (*Dioscorea* spp.) from Koraput, India based on molecular and morphological markers[J]. Physiology and Molecular Biology of Plants, 2019, 25(1): 1225–1233.

[16] Cao T X, Zhu Q L, Chen X, et al. The complete chloroplast genome sequence of the *Dioscorea persimilis* Prain et Burkill (Dioscoreaceae)[J]. Mitochondrial DNA Part B: Resources, 2020, 5(1): 451–452.

[17] 张莹, 曹玉芬, 霍宏亮, 等. 基于枝条和叶片表型性状的梨种质资源多样性[J]. 中国农业科学, 2018, 51(17): 3353–3369.

[18] 黄东益, 黄晓龙. 山药种质资源描述和数据质量控制规范[M]. 北京: 科学出版社, 2013.

[19] 杜荣骞. 生物统计学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1985.

[20] 刘思辰, 曹晓宁, 温琪汾, 等. 山西谷子地方品种农艺性状和品质性状的综合评价[J]. 中国农业科学, 2020, 53(11): 2137–2148.

[21] 舒锐, 刘少军, 刘建平, 等. 不同种薯质量对山药生长、产量及经济效益的影响[J]. 天津农业科学, 2019, 25(8): 41–43.

[22] 李方一, 黄璜, 官春云. 作物叶面积测量的研究进展[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(3): 274–282.

源的树型、树姿、叶形等 10 个形态特征性状进行了变异系数、多样性指数、聚类分析和因子分析^[8]。王飞权等利用主成分分析和聚类分析,对 42 份武夷名丛茶树资源生化成分的多样性进行研究,筛选出一批高茶多酚、高咖啡碱等生化成分的特异种质^[9]。

矿质元素是人体正常生长发育必需的成分,人体缺乏矿质元素容易造成“隐性饥饿”^[10]。茶叶作为一种广受欢迎的健康饮料,是人体获取矿质营养的来源之一^[11]。矿质元素在茶树初级和次级代谢过程中发挥重要作用,对茶树生长和茶叶品质有重要影响^[12-14]。近年来,相关学者基于矿质元素对小麦^[15]、燕麦^[16]、水稻^[17]等作物的遗传多样性进行了研究和分析,但关于茶树种质资源矿质元素遗传多样性方面的研究较少。石玉涛等对武夷山茶区特色茶树资源武夷名丛矿质元素含量的研究发现,28 份武夷名丛茶树种质资源中 18 种矿质元素含量存在较为丰富的遗传变异性^[18]。郑淑琳等对 34 份主要乌龙茶种质资源矿质元素含量特征的初步研究也发现 34 份乌龙茶种质资源中矿质元素含量变异丰富,平均变异系数为 31.84%,平均遗传多样性指数为 1.91^[19]。相关研究主要针对乌龙茶种质资源,绿茶、红茶、白茶类种质资源材料涉及较少,对茶树种质资源矿质元素多样性的分析还不够系统全面。本研究采用等离子体发射光谱仪测定 61 份国内主要茶树种质资源矿质元素含量,分析不同茶树种质资源矿质元素含量的差异与多样性,以期为茶树种质资源的开发利用和茶树新品种的选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试的 61 份茶树[*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze]种质种植于武夷学院茶树种质资源圃。基本信息见表 1。

1.2 试验地概况

试验地位于福建省武夷山市(27°44′20″N, 117°59′51″E),该地属中亚热带季风湿润气候区,年平均气温为 18.0℃左右,年平均降水量约 2 000 mm,年平均相对湿度为 80%左右^[20]。土壤类型为黄壤土,土壤有机质含量为 9.21 g/kg,pH 值为 4.80,全氮含量为 1.30 g/kg,全磷含量为 0.90 g/kg,全钾含量为 10.11 g/kg,速效氮含量为 140.52 mg/kg,速效磷含

表 1 茶树种质材料基本信息

编号	种质	原产地	编号	种质	原产地
TG01	安徽 3 号	安徽省	TG32	名山早 311	四川省
TG02	巴山早	四川省	TG33	平阳特早茶	浙江省
TG03	巴渝特早	四川省	TG34	奇曲	福建省
TG04	白毫早	湖南省	TG35	千年雪	浙江省
TG05	白叶 1 号	浙江省	TG36	黔湄 809	贵州省
TG06	保靖黄金茶 1 号	湖南省	TG37	蜀永 1 号	四川省
TG07	碧香早	湖南省	TG38	蜀永 2 号	四川省
TG08	碧云	浙江省	TG39	数北	日本
TG09	崇枇 71 - 1	重庆市	TG40	桃源大叶	湖南省
TG10	翠峰	浙江省	TG41	皖茶 91	安徽省
TG11	大叶龙	江西省	TG42	乌蒙早	四川省
TG12	鄂茶 11 号	湖北省	TG43	乌牛早	浙江省
TG13	鄂茶 12 号	湖北省	TG44	湘波绿	湖南省
TG14	鄂茶 1 号	湖北省	TG45	湘妃翠	湖南省
TG15	鄂茶 5 号	湖北省	TG46	宜早 1 号	四川省
TG16	鳊早 2 号	安徽省	TG47	迎霜	浙江省
TG17	福安大白茶	福建省	TG48	渝茶二号	重庆市
TG18	福鼎大白茶	福建省	TG49	渝茶一号	重庆市
TG19	福鼎大毫茶	福建省	TG50	玉绿	湖南省
TG20	福云 10 号	福建省	TG51	玉笋	湖南省
TG21	福云 6 号	福建省	TG52	云抗 10 号	云南省
TG22	福云 7 号	福建省	TG53	早白尖 5 号	重庆市
TG23	黄金芽	浙江省	TG54	浙农 113	浙江省
TG24	黄山种	安徽省	TG55	浙农 121	浙江省
TG25	尖波黄	湖南省	TG56	政和大白茶	福建省
TG26	江华苦茶	湖南省	TG57	中茶 102	浙江省
TG27	劲峰	浙江省	TG58	中茶 108	浙江省
TG28	涟源奇曲	湖南省	TG59	楮叶齐	湖南省
TG29	龙井 43	浙江省	TG60	紫娟	云南省
TG30	蒙山 11 号	四川省	TG61	紫嫣	四川省
TG31	名山白毫 131	四川省			

量为 12.56 mg/kg,速效钾含量为 120.49 mg/kg^[21]。每份种质种植小区长 20.0 m、宽 1.8 m,株数为 150 株,树龄为 5 年生。试验地立地条件和肥水管理一致。

1.3 试验方法

1.3.1 样品制备 2018 年 4 月于武夷学院茶树种质资源圃采集供试的 61 份茶树种质鲜叶原料,每份种质从种植小区中随机选择 60 株以上茶树,随机采摘 1 芽 2 叶新梢,重复 3 次。微波杀青固样,烘干、粉碎后过 40 目筛,取筛下样,置于 -20℃冰箱中保存备用。

1.3.2 样品处理 准确称取 1.000 0 g 样品置于消

煮管中(每个样品平行取 3 份),参照石玉涛等的方法^[18]对样品进行消解处理。

1.3.3 矿质元素含量测定 参照王洁等的方法^[22],采用等离子体发射光谱仪(ICP-OES)测定钾(K)、磷(P)、硫(S)、钙(Ca)、镁(Mg)、锰(Mn)、铝(Al)、铁(Fe)、钠(Na)、锌(Zn)、铜(Cu)、钡(Ba)、硼(B)、钛(Ti)、镍(Ni)、铬(Cr)、钴(Co)、硒(Se)等 18 种矿质元素的含量。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2019 和 IBM SPSS Statistics 26.0 软件进行数据处理和统计分析;采用 TBtools 软件绘制热图并进行层次聚类(HCA)分析^[23],聚类方法采用完全连接(complete-linkage)法,距离为欧氏距离;多样性指数(H')为 Shannon-Wiener 指数,计算公式为多样性指数(H') = $-\sum P_i \ln P_i$,其中 P_i 为某性状第 i 个代码出现的频率^[24];改良潜力 = $(X_{\max} - X_{\text{mean}})/X_{\text{mean}} \times 100\%$,式中: X_{\max} 为测定指标最高含量, X_{mean} 为测定指标平均含量^[16]。

2 结果与分析

2.1 茶树种质资源矿质元素含量差异分析

从表 2 可以看出,供试的 61 份茶树种质均含有丰富的矿质元素,不同矿质元素含量具有显著差异。5 种大量矿质元素中,以 K 的平均含量最高,为 9 772.61 mg/kg, Mg 的平均含量最低,为 899.94 mg/kg;13 种微量矿质元素中,以 Mn 的平均含量最高,为 550.78 mg/kg, Se 的平均含量最低,为 0.27 mg/kg。18 种矿质元素含量的平均遗传多样性指数为 1.98,表明供试的 61 份茶树种质各矿质元素含量遗传差异大,具有较为丰富的遗传多样性^[25]。18 种矿质元素含量平均变异系数为 30.79%,表明供试的 61 份茶树种质的 18 种矿质元素含量存在丰富的变异类型,具有较大的选择范围。不同茶树种质矿质元素含量具有不同程度的改良潜力, Ti 含量改良潜力最大,为 262.40%, S 含量改良潜力最低,为 36.30%, Fe、Co、Al、Ni 含量的改良潜力较高,分别为 228.54%、175.81%、133.26%、102.76%。对 18 种矿质元素含量进行正态分布检验(Shapiro-Wilk 检验),结果显示, P、S、Ca、Mg、Mn、Zn、Cu、Ba、B、Se 等 10 种元素含量呈正态分布($P > 0.05$),表明这 10 种元素含量在 61 份茶树种质的大部分材料中处于平均水平; K、Al、Fe、Na、Ti、Ni、Cr、Co 等 8 种元素含量呈正偏态分布

($P < 0.05$),表明这 8 种元素含量在 61 份茶树种质的大部分材料中低于平均水平。

表 2 61 份茶树种质资源 18 种矿质元素含量差异与改良潜力

矿质元素	含量(mg/kg)				变异系数(%)	H'	改良潜力(%)
	平均值	最大值	最小值	标准差			
K	9 772.61	15 333.33	6 464.00	1 606.25	16.44	1.91	56.90
P	2 811.86	3 948.35	1 351.69	469.96	16.71	1.96	40.42
S	1 430.87	1 950.28	833.61	262.59	18.35	2.12	36.30
Ca	973.37	1 344.77	451.11	166.29	17.08	1.96	38.16
Mg	899.94	1 230.38	505.91	137.40	15.27	1.96	36.72
Mn	550.78	784.92	240.22	132.51	24.06	2.18	42.51
Al	242.08	564.68	77.63	106.88	44.15	1.98	133.26
Fe	71.17	233.81	26.49	45.30	63.66	1.69	228.54
Na	26.88	52.37	13.54	9.45	35.16	2.10	94.85
Zn	23.51	36.77	11.91	4.88	20.75	2.01	56.42
Cu	7.08	11.30	2.90	1.75	24.77	2.04	59.65
Ba	6.32	10.83	3.02	1.89	29.95	2.15	71.40
B	4.97	8.28	1.57	1.45	29.16	2.14	66.47
Ti	3.35	12.12	1.23	2.33	69.65	1.58	262.40
Ni	1.98	4.02	0.82	0.57	28.95	1.91	102.76
Cr	1.10	1.93	0.52	0.29	25.92	1.96	74.45
Co	0.45	1.25	0.10	0.22	48.91	1.92	175.81
Se	0.27	0.44	0.13	0.07	25.34	2.01	61.77

2.2 茶树种质资源中 18 种矿质元素含量的相关性分析

对 18 种矿质元素含量的相关性分析(图 1)可知, K 含量与 P、S、Mg、Cu 含量呈极显著正相关; P 含量与 S、Mg、Zn、Cu、B、Cr 含量呈极显著正相关; S 含量与 Mg、Al、Fe、Cu、B、Ti、Cr 含量呈极显著正相关; Ca 含量与 Mn、Al、B 含量呈极显著正相关; Mg 含量与 Na、Cu 含量呈极显著正相关; Mn 含量与 Al、Fe、B、Co、Se 含量呈极显著正相关; Al 含量与 Fe、Cu、B、Ti、Cr 含量呈极显著正相关; Fe 含量与 Cu、Ti、Cr 含量呈极显著正相关; Zn 含量与 Cu 含量呈极显著正相关; Cu 含量与 B、Ti、Ni、Cr 含量呈极显著正相关; Ti 含量与 Cr 含量呈极显著正相关,表明不同茶树种质中各矿质元素之间存在着复杂的相关性。

2.3 茶树种质资源矿质元素的主成分分析

对茶树种质资源矿质元素含量进行主成分分析,结果(表 3)表明,可将 18 个矿质元素指标简化为 6 个主成分,累积方差贡献率达 77.722%,能够代表 18 个指标的绝大部分信息。第 1 主成分(PC₁)起作用的指标是矿质元素 S、Al、Fe、Cu、Ti、

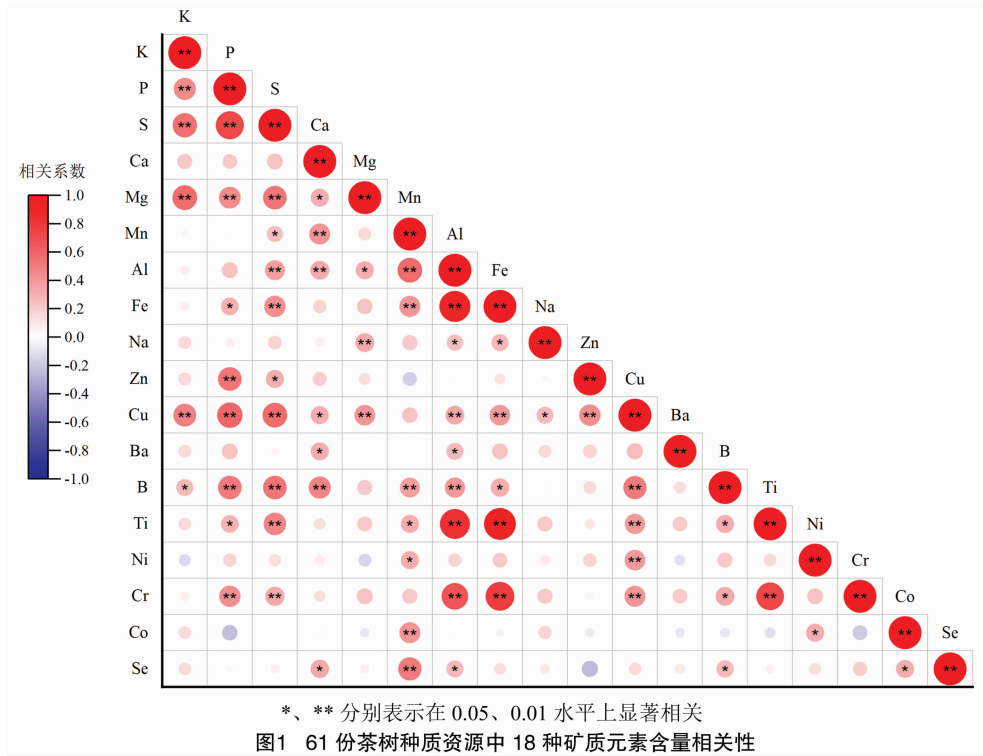


表 3 茶叶种质资源中 18 种矿质元素含量主成分分析结果

项目	特征向量					
	PC ₁	PC ₂	PC ₃	PC ₄	PC ₅	PC ₆
K 含量(X ₁)	0.189	-0.310	0.267	-0.297	0.153	-0.027
P 含量(X ₂)	0.278	-0.369	-0.029	0.144	-0.034	-0.087
S 含量(X ₃)	0.311	-0.231	0.082	-0.002	0.147	-0.251
Ca 含量(X ₄)	0.194	0.004	0.287	-0.072	-0.466	0.158
Mg 含量(X ₅)	0.222	-0.233	0.127	-0.411	0.221	-0.115
Mn 含量(X ₆)	0.209	0.364	0.314	0.011	-0.020	-0.092
Al 含量(X ₇)	0.330	0.295	-0.161	-0.111	-0.036	0.000
Fe 含量(X ₈)	0.332	0.232	-0.299	-0.015	0.083	0.016
Na 含量(X ₉)	0.142	0.064	0.059	-0.199	0.438	0.482
Zn 含量(X ₁₀)	0.121	-0.362	-0.053	0.367	0.006	0.307
Cu 含量(X ₁₁)	0.309	-0.198	0.108	0.206	0.071	0.115
Ba 含量(X ₁₂)	0.132	-0.044	-0.082	-0.125	-0.406	0.647
B 含量(X ₁₃)	0.268	-0.065	0.154	0.152	-0.358	-0.283
Ti 含量(X ₁₄)	0.318	0.185	-0.325	-0.039	0.086	-0.047
Ni 含量(X ₁₅)	0.122	0.149	0.138	0.647	0.183	0.036
Cr 含量(X ₁₆)	0.299	0.140	-0.300	0.021	0.017	-0.056
Co 含量(X ₁₇)	-0.002	0.235	0.452	0.122	0.329	0.187
Se 含量(X ₁₈)	0.122	0.274	0.375	-0.118	-0.201	-0.054
特征值	5.671	2.445	1.995	1.458	1.286	1.135
方差贡献率(%)	31.506	13.582	11.085	8.099	7.145	6.305
累积方差	31.506	45.088	56.173	64.272	71.417	77.722
贡献率(%)						

Cr, 称为 S、Al、Fe、Cu、Ti、Cr 因子, 贡献率为 31.506%;第 2 主成分(PC₂)起作用的指标是矿质元素 P、Mn、Zn, 称为 P、Mn、Zn 因子, 贡献率为 13.582%;第 3 主成分(PC₃)主要受 Co、Se 元素的影响,称为 Co、Se 因子, 贡献率为 11.285%;第 4 主成分(PC₄)主要受 Ni、Mg 和 Zn 元素的影响,其中 Mg 的影响为负,称为 Ni、Mg、Zn 因子, 贡献率为 8.099%;第 5 主成分(PC₅)起作用的指标是矿质元素 Ca,称为 Ca 因子, 贡献率为 7.145%;第 6 主成分(PC₆)起作用的指标是矿质元素 Ba 和 Na,称为 Ba、Na 因子, 贡献率最小,为 6.305%。

以各个主成分的方差贡献率占累积方差贡献率的比值为权重,建立综合得分模型:

$$Z_i = 0.405Z_{(i,1)} + 0.175Z_{(i,2)} + 0.143Z_{(i,3)} + 0.104Z_{(i,4)} + 0.092Z_{(i,5)} + 0.081Z_{(i,6)} \quad (1)$$

式中:Z_i 为综合得分;Z_(i,1)、Z_(i,2)、Z_(i,3)、Z_(i,4)、Z_(i,5)、Z_(i,6) 为 6 个主成分的得分;i 为 1,2,3,⋯,61。

根据公式(1)计算 61 份茶树种质中矿质元素的综合得分(表 4),根据综合得分排序对 61 份茶树种质矿质元素含量进行综合评价。综合得分排前 10 位的茶树种质分别为 TG24(黄山种)、TG45(湘妃翠)、TG53(早白尖 5 号)、TG15(鄂茶 5 号)、TG52(云抗 10 号)、TG26(江华苦茶)、TG55(浙农 121)、TG54(浙农 113)、TG49(渝茶一号)、TG60(紫鹃),

表明这 10 份茶树种质对矿质元素的吸收和累积能力较强;排后 5 位的茶树种质为 TG11(大叶龙)、TG35(千年雪)、TG38(蜀永 2 号)、TG03(巴渝特早)、TG09(崇枇 71-1),表明这 5 份材料对矿质元素的吸收和累积能力较弱。

表 4 61 份茶树种质资源的主成分得分

种质编号	主成分得分						综合得分	排序
	$Z_{(i,1)}$	$Z_{(i,2)}$	$Z_{(i,3)}$	$Z_{(i,4)}$	$Z_{(i,5)}$	$Z_{(i,6)}$		
TG01	-0.265	2.431	3.908	-1.794	0.297	0.275	0.740	14
TG02	0.778	-0.923	0.611	-1.442	2.173	-1.230	0.191	26
TG03	-3.354	-1.469	-1.116	0.748	0.407	1.208	-1.562	58
TG04	-1.250	-1.547	-0.160	0.889	-1.998	-0.022	-0.893	51
TG05	2.583	-1.005	-2.977	-1.731	-0.449	1.981	0.383	20
TG06	0.320	-0.825	-0.856	-0.948	-1.320	0.638	-0.306	35
TG07	-1.438	0.268	0.365	-0.358	-2.303	2.149	-0.558	45
TG08	0.831	-2.073	0.423	-0.972	-0.379	-0.062	-0.107	30
TG09	-4.382	1.578	0.031	-1.571	1.147	1.010	-1.470	57
TG10	-0.089	1.409	1.107	0.576	-2.002	0.255	0.265	23
TG11	-5.977	0.640	-3.968	0.283	0.379	-0.621	-2.862	61
TG12	0.313	-0.176	0.787	3.003	0.820	-0.547	0.552	17
TG13	-1.111	-0.381	0.969	0.871	1.090	-1.584	-0.316	36
TG14	-1.572	2.161	0.683	-0.586	-1.331	-0.638	-0.396	42
TG15	4.033	2.378	-1.260	0.475	0.072	-0.772	1.863	4
TG16	0.342	0.543	2.035	-0.587	0.601	-2.072	0.351	21
TG17	-1.576	-0.341	0.684	0.843	0.050	-0.423	-0.542	44
TG18	-0.394	-0.509	1.244	1.096	-1.510	-0.870	-0.166	31
TG19	-2.574	-1.256	-0.352	1.873	-0.323	-0.627	-1.198	54
TG20	2.281	0.032	-0.311	-0.030	-0.841	-0.978	0.725	15
TG21	-1.001	0.587	1.102	0.890	-2.696	-0.583	-0.348	39
TG22	-1.143	-1.536	0.138	-0.108	-0.642	-0.620	-0.832	50
TG23	-2.655	0.235	0.791	-0.317	2.167	1.770	-0.611	46
TG24	5.461	2.768	-2.034	-0.695	1.286	0.979	2.531	1
TG25	0.472	0.376	-3.837	-0.179	-0.182	-0.294	-0.351	40
TG26	1.170	3.343	1.203	1.461	-0.316	1.193	1.451	6
TG27	0.895	0.388	-0.334	3.777	-0.309	-0.901	0.674	16
TG28	-1.515	-0.361	-0.714	-0.069	0.073	-0.224	-0.797	49
TG29	0.631	-0.621	2.816	-0.632	-1.445	-0.394	0.319	22
TG30	-2.717	0.298	-0.150	0.035	-0.199	0.977	-1.005	53
TG31	1.886	-2.091	0.480	-1.359	-1.457	0.020	0.193	25
TG32	0.134	-2.594	1.053	-1.639	2.047	0.227	-0.213	33
TG33	0.040	-3.703	0.261	0.614	0.447	2.138	-0.316	37
TG34	-1.596	1.637	0.330	-0.410	-0.285	1.001	-0.301	34
TG35	-2.996	0.645	-1.501	-1.542	-0.343	-1.452	-1.624	60
TG36	2.299	-1.049	0.842	0.003	-0.164	0.330	0.880	11
TG37	1.451	-0.359	-0.599	0.836	1.363	-1.565	0.525	18
TG38	-3.606	1.232	-0.603	-2.247	0.581	-1.326	-1.619	59
TG39	1.476	-0.022	-2.124	1.578	0.154	-0.282	0.446	19
TG40	-0.597	-3.250	-0.292	0.821	1.205	-0.131	-0.667	47
TG41	0.229	0.133	0.863	-0.844	-0.593	0.800	0.162	27

表 4(续)

种质编号	主成分得分						综合得分	排序
	$Z_{(i,1)}$	$Z_{(i,2)}$	$Z_{(i,3)}$	$Z_{(i,4)}$	$Z_{(i,5)}$	$Z_{(i,6)}$		
TG42	1.221	2.097	1.046	-1.350	0.232	-0.335	0.865	12
TG43	-0.941	-1.296	0.016	0.267	1.230	-0.106	-0.473	43
TG44	-0.627	0.092	0.973	-0.255	-1.588	-0.644	-0.323	38
TG45	5.286	1.597	-2.775	0.849	-0.514	1.290	2.169	2
TG46	1.533	-1.49	1.151	1.103	0.904	0.519	0.765	13
TG47	-0.979	-0.384	0.815	1.905	-0.959	0.322	-0.211	32
TG48	-2.001	1.954	-0.058	-0.489	0.896	0.968	-0.367	41
TG49	0.340	1.889	1.741	1.021	2.652	1.362	1.177	9
TG50	-1.896	-0.981	-0.044	-0.842	-0.218	0.758	-0.992	52
TG51	-1.966	-1.157	-0.557	-0.585	0.236	-1.676	-1.253	55
TG52	6.373	-3.047	0.220	-2.119	-0.982	0.592	1.817	5
TG53	3.917	2.033	0.560	-0.245	0.854	-1.484	1.955	3
TG54	4.015	-0.176	-0.702	-1.488	0.123	-1.944	1.194	8
TG55	2.399	0.323	0.429	0.996	0.581	1.219	1.345	7
TG56	-2.122	-0.248	-1.448	-1.397	-0.391	-1.443	-1.408	56
TG57	-0.673	2.631	0.614	-0.037	-0.795	0.623	0.249	24
TG58	-0.415	-1.063	1.361	0.558	1.809	1.048	0.150	28
TG59	-1.287	-0.250	-1.163	-0.291	-0.537	1.446	-0.694	48
TG60	2.655	-1.405	-0.051	1.049	0.673	-0.959	0.915	10
TG61	-0.651	1.890	-1.664	0.737	0.519	-0.286	-0.070	29

2.4 基于 18 种矿质元素含量的茶树种质资源的聚类分析

基于 18 种矿质元素含量对 61 份茶树种质进行聚类分析(图 2),按照各元素含量的高低,可将 61 份茶树种质划分为 5 类,第 1 类(Ⅰ)包括 TG52、TG20、TG54、TG15、TG53、TG24、TG45 等 7 份资源;第 2 类(Ⅱ)只包含 TG11;第 3 类(Ⅲ)包含 TG01、TG16、TG29、TG35、TG38、TG51、TG56、TG09、TG23 等 9 份资源;第 4 类(Ⅳ)包含 TG02、TG32、TG06、TG41、TG36、TG08、TG31、TG33、TG40、TG03、TG04、TG22、TG28、TG43、TG19、TG17、TG47 等 17 份资源;第 5 类(Ⅴ)包括 TG05、TG25、TG60、TG37、TG39、TG27、TG12、TG13、TG46、TG58、TG07、TG59、TG30、TG50、TG18、TG21、TG14、TG10、TG44、TG61、TG48、TG34、TG57、TG26、TG49、TG42、TG55 等 27 份资源。

从表 5 可以看出,第Ⅰ类群 7 份种质的 K、P、S、Ca、Mg、Mn、Al、Fe、Na、Cu、Ba、B、Ti、Cr、Se 含量在 5 个类群中最高,Zn、Ni、Co 等 3 种元素的含量中等;第Ⅱ类群 1 份种质除 Ti 和 Cr 含量中等外,其余 16 种元素含量在 5 个类群中均最低;第Ⅲ类群 9 份种质的 Co 含量在 5 个类群中最高,Cr 含量最低,其余

元素的含量中等;第Ⅳ类群 17 份种质的 Zn 含量在 5 个类群中最高,Ti 含量最低,其余元素含量中等;第Ⅴ类群 27 份种质的 Ni 含量在 5 个类群中最高,其余元素含量中等。结合主成分分析结果可知,主成分得分排前 5 位的 5 份种质位于聚类分析的第Ⅰ类群,主成分得分排最末位的种质与聚类分析的第Ⅱ类群的 1 份材料一致,说明聚类分析可获得与主成分分析较为一致的评价结果。

3 讨论与结论

茶树是我国重要的特色经济作物,茶树种质资源是培育茶树优良品种和发展茶叶生产最重要的基础材料。长期茶叶生产实践表明,优异种质资源对育种水平的提高具有重要意义^[26-27]。我国茶树种质资源丰富,遗传基础广泛,系统地对茶树种质资源进行鉴定、分析和遗传多样性研究,能为茶树的遗传改良提供更加丰富的亲本材料,对于茶树的遗传育种具有重大的推动意义。

本研究通过对 61 份茶树种质资源中 18 种矿质元素含量的测定和分析,发现 18 种矿质元素含量的平均遗传多样性指数为 1.98,平均变异系数达 30.79%,

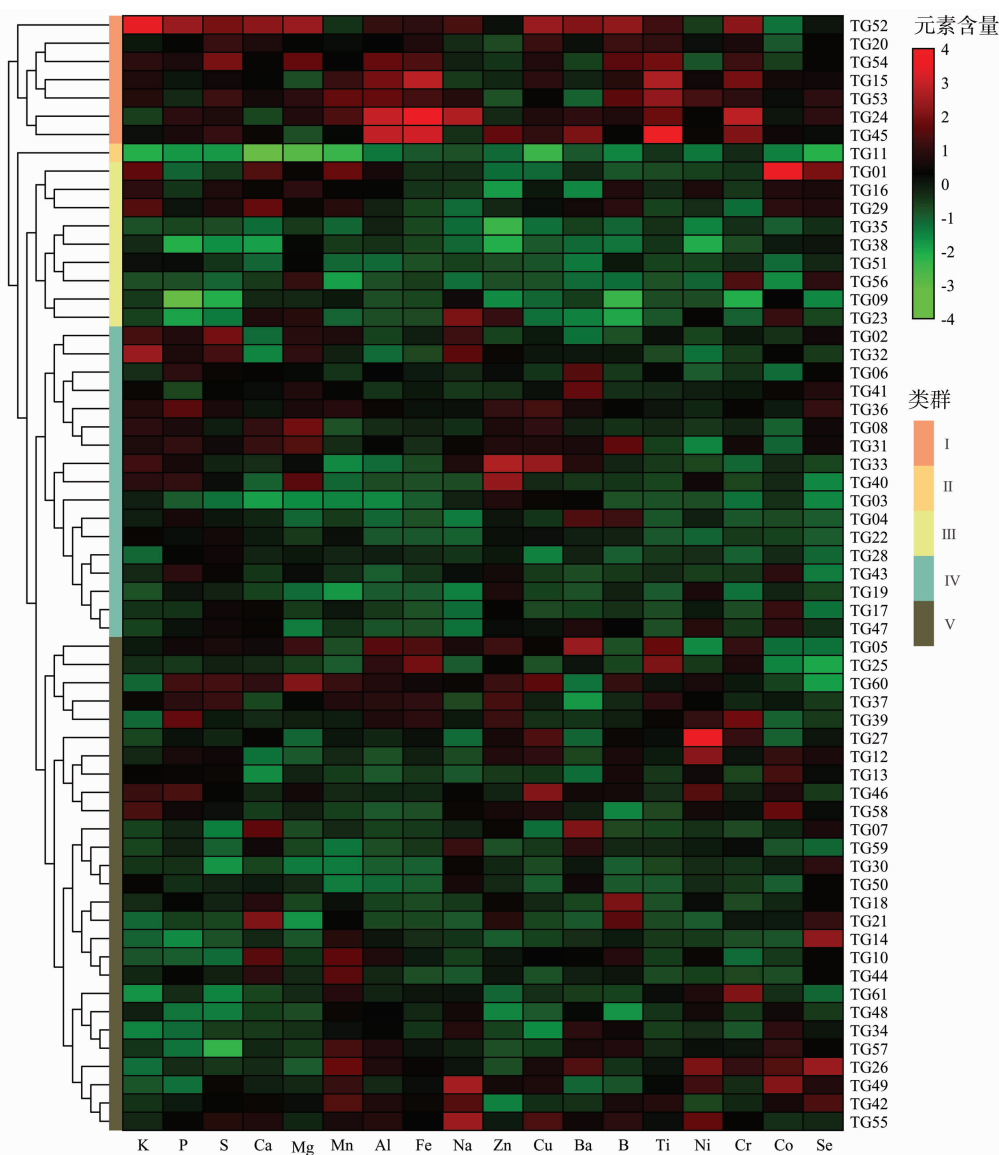


图2 61份茶树种质资源基于18种矿质元素含量的聚类热图

表明61份茶树种质在18种矿质元素上存在丰富的变异类型,具有较大的选择范围,可以选择改良潜力较大的种质材料,选育出不同矿质营养吸收和累积能力的茶树品种。相关性分析结果表明,茶树中不同矿质元素间存在较强的相关性,如K含量与P、S、Mg、Cu含量呈极显著正相关($P < 0.01$),P含量与S、Mg、Zn、Cu、B、Cr含量呈极显著正相关($P < 0.01$),因此在茶园生产管理中,可结合不同茶树种质对矿质元素的吸收和累积特点,做到因地制宜、因种施肥,从而实现茶园生产中化肥减量化施用的要求^[28]。通过主成分分析筛选出61份茶树种质资源的代表性元素为S、Al、Fe、Cu、Ti、Cr、P、Mn、Zn、Co、Se,可为茶树品种矿质营养性状筛选和鉴定

提供参考。聚类分析可将61份茶树种质资源分为5类,各个类群在K、P、S、Ca、Mg、Mn、Co、Cr、Ni等元素含量上差异明显,今后可针对茶树种质资源矿质元素含量丰富的多态性,利用分子生物学手段和方法进行基因定位和有用基因挖掘,为茶树资源矿质元素的遗传改良提供更为深入的依据。本研究仅对茶树种质资源主要矿质元素含量进行了分析,而茶树中富含多种营养和功能成分,矿质元素与茶多酚、生物碱和游离氨基酸等主要品质成分的相关性^[29],以及矿质元素与茶树生理特性^[30]、抗逆性^[31]的相互关系等都有待于进一步系统研究,从而为茶树种质资源的评价和鉴定提供更为全面的参考。

表 5 茶树种质资源各类群矿质元素平均含量					
矿质元素	平均含量 (mg/kg)				
	I	II	III	IV	V
K	11 085.71	6 464.00	10 037.41	10 322.45	9 120.26
P	3 138.07	2 000.85	2 313.13	3 031.17	2 785.48
S	1 759.14	971.11	1 252.02	1 528.82	1 360.73
Ca	1 068.35	451.11	966.53	939.29	991.82
Mg	992.26	505.91	957.25	923.23	856.84
Mn	639.73	240.22	514.00	498.22	584.58
Al	437.45	102.65	205.71	179.21	248.31
Fe	162.39	31.37	44.42	49.37	71.63
Na	31.87	19.59	23.31	24.60	28.47
Zn	23.15	18.09	18.36	26.45	23.66
Cu	8.98	2.90	5.73	7.30	7.05
Ba	7.28	4.67	4.79	6.76	6.37
B	6.78	2.85	3.87	4.82	5.05
Ti	8.25	2.42	1.97	2.25	3.26
Ni	2.10	1.23	1.62	1.77	2.23
Cr	1.60	1.03	0.95	0.96	1.12
Co	0.41	0.14	0.53	0.42	0.47
Se	0.31	0.13	0.29	0.25	0.28

参考文献:

[1] Xu A N, Lai W Y, Chen P, et al. A comprehensive review on polysaccharide conjugates derived from tea leaves: composition, structure, function and application [J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 114: 83–99.

[2] 冷 杨, 童杰文, 黄 萍, 等. 我国茶产业发展“十三五”回顾及“十四五”展望[J]. 中国茶叶, 2021, 43(9): 25–30.

[3] 陈杰丹, 马春雷, 陈 亮. 我国茶树种质资源研究 40 年[J]. 中国茶叶, 2019, 41(6): 1–5, 46.

[4] 赵云霞, 颜秀娟, 王学梅, 等. 246 份番茄种质资源表型性状的遗传多样性[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(17): 134–140.

[5] 翟秀明, 李 解, 唐 敏, 等. 重庆 30 份茶树种质资源农艺性状与生化成分多样性[J]. 浙江农业学报, 2021, 33(7): 1244–1255.

[6] 顾文亮, 张建禹, 覃永兰, 等. 鹧鸪茶种质资源品质性状的多样性分析[J]. 热带作物学报, 2019, 40(12): 2364–2368.

[7] 夏法刚, 袁兴旺, 吴 锋, 等. 武夷岩茶种质资源遗传多样性与亲缘关系的 SRAP 分析[J]. 茶叶科学, 2017, 37(1): 78–85.

[8] 牛素贞, 宋勤飞, 安红卫, 等. 贵州古茶树种质资源基于形态特征的多样性研究[J]. 浙江农业学报, 2019, 31(10): 1689–1699.

[9] 王飞权, 冯 花, 王 芳, 等. 42 份武夷名丛茶树资源生化成分多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(3): 670–676.

[10] Gödecke T, Stein A J, Qaim M. The global burden of chronic and hidden hunger: trends and determinants[J]. Global Food Security, 2018, 17: 21–29.

[11] 陈 保, 姜东华, 罗正刚, 等. 基于矿质元素的古树普洱茶原料特征研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(13): 4324–4331.

[12] 罗 凡, 龚雪蛟, 张 厅, 等. 氮磷钾对春茶光合生理及氨基酸组分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(1): 147–155.

[13] Zhang Y F, Wang Y, Ding Z T, et al. Zinc stress affects ionome and metabolome in tea plants [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2017, 111: 318–328.

[14] Xu Q S, Wang Y, Ding Z T, et al. Aluminum induced metabolic responses in two tea cultivars [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2016, 101: 162–172.

[15] 王 维, 郭 红, 于 慧, 等. 富含有益矿质元素小麦种质资源的筛选及育种利用[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(2): 15–24.

[16] 齐冰洁, 王 敏, 张智勇, 等. 燕麦种质资源矿质元素的多样性分析[J]. 作物杂志, 2020(4): 72–78.

[17] 夏秀忠, 张宗琼, 农保选, 等. 广西水稻地方品种核心种质矿质元素含量差异及相关分析[J]. 热带作物学报, 2020, 41(8): 1602–1609.

[18] 石玉涛, 郑淑琳, 王飞权, 等. 武夷名丛茶树种质资源矿质元素含量特征分析[J]. 中国农业科技导报, 2020, 22(7): 37–50.

[19] 郑淑琳, 石玉涛, 王飞权, 等. 乌龙茶种质资源矿质元素含量特征分析与评价[J]. 福建农业学报, 2020, 35(2): 150–160.

[20] 杨 林, 李欣欣, 廖 廓, 等. 福建武夷山气候变化与林业有害生物对植被生态的影响[J]. 环境生态学, 2021, 3(3): 78–88.

[21] 叶江华, 张 奇, 林 生, 等. 大红袍茶树生长及鲜叶品质与土壤特性的相关性[J]. 森林与环境学报, 2019, 39(5): 488–496.

[22] 王 洁, 石元值, 张群峰, 等. 基于矿物元素指纹的龙井茶产地溯源[J]. 核农学报, 2017, 31(3): 547–558.

[23] Chen C J, Chen H, Zhang Y, et al. TBtools: an integrative toolkit developed for interactive analyses of big biological data [J]. Molecular Plant, 2020, 13(8): 1194–1202.

[24] 贾瑞玲, 赵小琴, 南 铭, 等. 64 份苦荞种质资源农艺性状遗传多样性分析与综合评价[J]. 作物杂志, 2021(3): 19–27.

[25] 王 瑾, 李玉荣, 张嘉楠, 等. 中国花生主栽品种抗旱性鉴定及其遗传多样性分析[J]. 中国农业科技导报, 2015, 17(1): 57–64.

[26] 金基强, 张晨禹, 马建强, 等. 茶树种质资源研究“十三五”进展及“十四五”发展方向[J]. 中国茶叶, 2021, 43(9): 42–49, 76.

[27] 赵 洋, 刘 振, 杨培迪, 等. 黄金茶种质资源生化成分的多样性分析[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(5): 1285–1291.

[28] 颜鸿远, 刘 引, 徐 扬, 等. 药用和茶用菊花种质资源的矿质元素分析评价[J]. 中国中药杂志, 2021, 46(2): 272–280.

[29] 叶江华, 张 奇, 刘德发, 等. 武夷肉桂茶品质差异分析及其与矿质元素间的关系[J]. 茶叶通讯, 2021, 48(1): 105–113.

[30] 张文娥, 李 慧, 潘学军. 干旱及复水对芭蕉芋干物质及氮磷钾积累与分配特征的影响[J]. 西北植物学报, 2020, 40(3): 490–501.

[31] 李宏杰, 武庆慧, 赵亚南, 等. 不同配方肥对冬小麦群体动态、抗逆性及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(3): 300–307.