昆明学院学报　2021，43（3）：33～37　ISSN 1674－5639　CN 53－1211/G4
Journal of Kunming University

云南南华茶产区中铜、铁、锰和锌的含量分布特征

方云山，田冬梅，高　娟，王　娜
（昆明学院 化学化工学院，云南 昆明 650214）

摘要：采用 ICP-MS 法对南华县 28 个茶园土壤、茶叶和茶汤中的 Cu、Fe、Mn 和 Zn 的含量进行测定，并对各元素在土壤和茶叶之间及茶叶和茶汤之间的相关性进行分析．结果表明，Cu、Fe、Mn 和 Zn 的含量在土壤中分别在 6.28～52.72 mg/kg、12 834～34 098 mg/kg、41.1～3 057.0 mg/g 和 18.39～706.90 mg/kg 之间，在茶叶中分别在 3.67～14.14 mg/kg、12.16～282.40 mg/kg、151.2～2 472.0 mg/kg 和 4.96～285.50 mg/kg 之间；茶叶中 Cu、Fe、Mn 和 Zn 的溶出率分别在 4.86%～52.32%、5.86%～38.34%、1.50%～18.92% 和 0.72%～39.27% 之间．相关性分析结果显示，茶叶中 Cu 含量与 Cu 的溶出率呈极显著负相关，与 Zn 的溶出率呈极显著正相关；茶叶中 Fe 含量与 Fe 的溶出率呈极显著负相关；茶叶中 Zn 含量与 Mn 的溶出率呈显著正相关，与 Zn 的溶出率呈极显著负相关．

关键词：茶叶；南华县；金属元素；相关性
中图分类号：TS272　**文献标识码**：A　**文章编号**：1674－5639（2021）03－0033－05
DOI：10.14091/j.cnki.kmxyxb.2021.03.008

Content Distribution Characteristics of Cu, Fe, Mn and Zn in Tea Production Area in Yunnan Nanhua County

FANG Yunshan, TIAN Dongmei, GAO Juan, WANG Na
(College of Chemistry and Chemical Engineering, Kunming University, Kunming, Yunnan, China　650214)

Abstract: The contents of Cu, Fe, Mn and Zn in soil, tea and tea soup from 28 tea gardens in Nanhua County were measured by ICP-MS, and their content correlations between soil and tea , tea and tea soup were analyzed. The results showed that the contents of Cu, Fe, Mn and Zn in soil are as follows: 6.28—52.72 mg/kg, 12 834—34 098 mg/kg, 41.1—3 057.0 mg/kg and 18.39—706.90 mg/kg; the content of them in tea are as follows: 3.67—14.14 mg/kg, 12.16—282.40 mg/kg, 151.2—2 472.0 mg/kg and 4.96—285.50 mg/kg. Dissolution rates of Cu, Fe, Mn and Zn are 4.86%—52.32%, 5.86%—38.34%, 1.50%—18.92% and 0.72%—39.27%. In tea, the content of Cu has an obviously negative correlation with its dissolution rate and an obviously positive correlation with the dissolution rate of Zn. The content of Fe has an obviously negative correlation with its dissolution rate; the content of Zn has an obviously positive correlation with the dissolution rate of Mn, and an obviously negative correlation with its dissolution rate.
Key words: tea; Nanhua county; metallic element; correlation

茶叶中含有茶多酚、茶多糖、茶氨酸、维生素和矿物质等多种成分[1]，具有提神醒脑、助消化、抗氧化、抗疲劳、抗癌、降脂减肥、提高免疫力等生理活性[2-5]．目前，除了对茶叶的生物活性成分和保健功能开展研究外，对茶园土壤的养分[6-7]、细菌群落[8-9]、重金属[10-11]，以及茶叶中重金属元素[12-13]、香气成分[14]、农残分析检测[15]、重金属元素在茶园系统中的迁移[16]、茶叶中金属元素的浸出率[17-18]等方面的研究也颇受关注．

虽然云南是茶叶种植大省，但目前对云南茶产区的相关研究主要集中于滇西，鲜见关于滇中（如楚雄等）茶产区的相关研究报道．而 Cu、Fe、Mn 和 Zn 是植物生长所必需的营养元素[19]，因此，本文采用 ICP-MS 法对云南省楚雄彝族自治州南华

收稿日期：2021－05－10
基金项目：云南省高校食品安全检测技术重点实验室建设项目．
作者简介：方云山（1980—），男，云南石林人，副教授，博士，主要从事分析检测研究．

县茶产区“土壤－茶叶－茶汤”系统中 Cu、Fe、Mn 和 Zn 的含量进行测定，并对各元素在土壤和茶叶之间与茶叶和茶汤之间的相关性进行分析，以期为该茶产区茶叶产业的发展提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 样品的采集与制备

土壤、茶叶样品采自云南省楚雄彝族自治州南华县. 在该县每个自然村选取 1 个茶园，每个茶园采集 1 份茶叶样品，在相应茶树下采集 1 份土壤样品（地面 20 cm 下取样）. 土壤样品去除植物残体、石子及硬物，自然风干并研磨过 120 目筛，编号备用. 茶叶样品 75 ℃烘干并研磨过 60 目筛. 各村采样信息及编号分别如下：1）雨露乡. 小长冲茶厂（YL-1）、铅产上村（YL-2）、罗依昨村（YL-3）、龙洞村（YL-4）、果乐村（YL-5）；2）徐营乡. 大屯村（XY-1）；3）五顶山乡. 赵家村（WDS-1）、力苴村（WDS-2）；4）兔街镇. 秀田村（TJ-1）、小村茶厂（TJ-2）、望天坡村（TJ-3）、桃树村（TJ-4）、三家村（TJ-5）、梅子箐（TJ-6）、大荒田村（TJ-7）、半坡村（TJ-8）、半坡茶厂（TJ-9）、八岔路村（TJ-10）；5）马街镇. 锈水塘村（MJ-1）、沙坦郎村（MJ-2）、钱家垭口（MJ-3）、马街村（MJ-4）、多依箐村（MJ-5）、大沟下村（MJ-6）、大山中村（MJ-7）；6）罗武庄乡. 三家村（LWZ-1）、阿脑村（LWZ-2）；7）红土坡乡. 龙潭山村（HTP-1）.

1.2 土壤样品前处理

准确称取 0.500 g 土壤样品至聚四氟乙烯干锅中，加入 5 mL 氢氟酸加热微沸 0.5 h 后浸泡过夜，随后加热赶氢氟酸至微黏稠，再加入 15 mL 硝酸继续加热赶尽氢氟酸，之后加入 2 mL 浓盐酸并继续加热消解至溶液透亮，再加热蒸至 3 ~ 4 mL，冷却后用 3% 的硝酸定容至 50 mL，摇匀待测.

1.3 茶叶样品前处理

准确称取茶叶样品 0.500 g 至烧杯中，加 20 mL 浓硝酸浸泡过夜，加入 3 mL 浓盐酸低温消解 2 h. 期间，逐滴加入过氧化氢低温消解至溶液透明并蒸至 3 ~ 4 mL，冷却后用 3% 稀硝酸定容至 50 mL，摇匀待测.

1.4 茶汤样品前处理

准确称取 2.000 g 茶叶于烧杯中，加 50 mL 开水浸泡 3 次，每次 5 min，合并浸泡液，置于电热板上加热浓缩（15 mL 左右）后，加入 10 mL 浓硝酸低温消解 1 h，期间，逐滴加入过氧化氢至溶液透明，继续加热蒸至 3 ~ 4 mL，冷却后用 3% 的稀硝酸定容至 50 mL，摇匀待测. 本研究每一样品均平行 3 份，同时做样品空白. 所用试剂均为优级纯，水为超纯水.

2 结果与讨论

2.1 土壤中 Cu、Fe、Mn 和 Zn 的含量分布

采用 ICP-MS 法对土壤中 Cu、Fe、Mn 和 Zn 的含量进行测定，结果汇总于表 1 之中.

表 1 土壤中 Cu、Fe、Mn 和 Zn 的含量

样品编号	元素及含量/(mg · kg^{-1})			
	Cu	Fe	Mn	Zn
YL-1	17.52	19 071	131.80	18.39
YL-2	12.28	14 079	319.90	31.49
YL-3	18.43	17 316	659.40	68.12
YL-4	14.71	18 820	529.50	706.90
YL-5	14.99	12 834	95.40	215.20
XY-1	6.73	17 373	55.30	116.10
WDS-1	11.06	21 182	197.50	121.10
WDS-2	9.72	14 006	966.80	52.80
TJ-1	11.33	22 353	315.50	70.97
TJ-2	31.35	30 632	883.70	57.50
TJ-3	7.91	19 742	576.50	94.93
TJ-4	10.29	17 826	91.50	119.80
TJ-5	8.60	16 660	642.60	78.46
TJ-6	15.71	16 352	958.80	68.01
TJ-7	6.66	20 638	41.10	245.60
TJ-8	16.16	26 605	293.10	61.50
TJ-9	6.28	26 399	91.70	50.45
TJ-10	11.66	19 838	135.00	237.50
MJ-1	24.45	29 168	804.20	171.80
MJ-2	52.72	18 925	1 898.00	142.30
MJ-3	21.30	25 627	751.60	94.71
MJ-4	20.11	23 393	420.70	156.20
MJ-5	48.76	34 098	1 104.00	114.00
MJ-6	18.54	21 454	582.70	347.90
MJ-7	18.37	23 656	224.60	64.14
LWZ-1	11.82	15 288	801.00	66.40
LWZ-2	9.60	25 160	3 057.00	102.40
HTP-1	8.72	14 597	326.50	100.40

分析结果显示，土壤中 Cu、Fe、Mn 和 Zn 的含量分别在 6.28 ~ 52.72 mg/kg、12 834 ~ 34 098 mg/kg、41.1 ~ 3 057.0 mg/kg 和 18.39 ~ 706.90 mg/kg 之间. 其中，马街镇的沙坦郎村（MJ-2）和多依箐村（MJ-5）茶园土壤中 Cu 的含

量高于云南土壤背景值（w(Cu) = 46.3 mg/kg）[20]，有许多茶园土壤中 Mn 和 Zn 的含量高于云南土壤背景值（w(Mn) = 626 mg/kg、w(Zn) = 89.7 mg/kg），特别是罗武庄乡阿脑村（LWZ-2）茶园土壤中 Mn 的含量已超过云南土壤背景值的 3.9 倍，雨露乡龙洞村（YL-4）茶园土壤中 Zn 的含量已达云南土壤背景值的 7.9 倍，其原因主要与茶园周边分布着大量的 Mn 和 Zn 矿区有关. Fe 元素含量均低于云南省土壤背景值. 此外，4 种元素的变异系数分别为 CV(Cu) = 67.81%、CV(Fe) = 25.72%、CV(Mn) = 104.90% 和 CV(Zn) = 99.48%，Cu、Mn 和 Zn 这 3 种元素的变异系数过大，可能与采样分布区域广有关.

2.2　茶叶中 Cu、Fe、Mn 和 Zn 元素的含量分布

采用 ICP-MS 法对茶叶中 Cu、Fe、Mn 和 Zn 的含量进行测定，结果汇总于表 2 之中.

分析结果显示，茶叶中 Cu、Fe、Mn 和 Zn 的含量分别在 3.67 ~ 14.14 mg/kg、12.16 ~ 282.40 mg/kg、151.2 ~ 2 472.0 mg/kg 和 4.96 ~ 285.50 mg/kg 之间. 其中：Mn 的含量相对较高，Cu 的含量相对较低，不同样品中同一元素含量差异明显；4 种元素的变异系数分别为 CV(Cu) = 33.70%、CV(Fe) = 82.46%、CV(Mn) = 60.07% 和 CV(Zn) = 142.60%，Fe、Mn 和 Zn 这 3 种元素的变异系数过大，可能与采样的分布区域广以及其在土壤中的存在形态不同有关. 此外，绝大部分茶叶中的 Mn 含量比土壤中的含量高，表明茶叶对 Mn 元素有一定的富集作用.

2.3　茶叶中 Cu、Fe、Mn 和 Zn 元素的溶出率

采用 ICP-MS 法对茶汤中 Cu、Fe、Mn 和 Zn 的含量进行测定，并计算 4 种元素的溶出率，结果汇总于表 3 之中.

表 2　茶叶中 Cu、Fe、Mn 和 Zn 的含量

样品编号	元素及含量/(mg · kg^{-1})			
	Cu	Fe	Mn	Zn
YL-1	4.72	13.74	2 400.00	55.58
YL-2	8.05	265.10	493.90	17.10
YL-3	7.54	57.73	2 472.00	23.67
YL-4	11.92	53.78	1 294.00	16.70
YL-5	6.51	53.35	671.10	19.87
XY-1	8.14	70.69	734.70	15.02
WDS-1	8.67	61.49	835.40	23.68
WDS-2	4.27	64.99	950.60	116.40
TJ-1	11.39	282.40	1 012.00	24.74
TJ-2	8.88	77.33	575.70	9.07
TJ-3	9.28	12.16	379.80	238.40
TJ-4	5.79	80.10	250.90	25.42
TJ-5	7.89	31.72	849.80	18.72
TJ-6	6.68	33.69	1 732.00	17.35
TJ-7	14.14	23.00	1 583.00	19.53
TJ-8	13.73	67.25	1 214.00	14.03
TJ-9	10.58	89.57	151.20	27.62
TJ-10	5.73	75.51	1 192.00	20.97
MJ-1	5.13	34.74	217.70	237.20
MJ-2	12.24	75.46	1 457.00	4.96
MJ-3	7.51	43.89	600.30	188.90
MJ-4	8.59	82.77	1 495.00	24.50
MJ-5	7.98	48.36	976.00	5.05
MJ-6	6.56	132.20	549.90	22.00
MJ-7	8.84	80.09	1 236.00	21.93
LWZ-1	3.67	38.01	461.40	285.50
LWZ-2	4.97	91.75	1 613.00	49.75
HTP-1	8.44	61.11	650.60	16.37

表 3　茶叶中 Cu、Fe、Mn 和 Zn 的溶出率

样品编号	元素及溶出率/%			
	Cu	Fe	Mn	Zn
YL-1	52.32	30.41	9.54	6.89
YL-2	28.27	6.58	5.26	17.31
YL-3	18.07	25.11	10.68	11.98
YL-4	15.34	28.96	6.70	13.45
YL-5	20.96	32.35	2.28	13.38
XY-1	15.04	15.43	3.42	18.67
WDS-1	33.25	30.19	3.28	11.75
WDS-2	37.68	18.08	3.09	1.41
TJ-1	10.31	5.86	3.47	11.17
TJ-2	11.35	12.92	4.98	26.78
TJ-3	14.65	30.92	4.07	9.09
TJ-4	26.12	13.35	1.97	6.11
TJ-5	19.49	30.50	6.93	17.45
TJ-6	11.26	38.34	2.31	8.74
TJ-7	15.03	29.93	5.24	19.37
TJ-8	4.86	20.97	4.45	27.62
TJ-9	8.20	12.23	1.50	15.12
TJ-10	27.73	17.53	3.74	9.40
MJ-1	18.72	33.23	3.53	1.31
MJ-2	6.91	13.67	2.64	39.27
MJ-3	18.32	28.63	8.32	1.01
MJ-4	7.33	28.77	6.75	12.91
MJ-5	25.30	25.76	6.31	36.17
MJ-6	24.27	10.09	10.93	17.68
MJ-7	9.41	16.48	2.12	20.04
LWZ-1	41.17	22.50	18.92	0.72
LWZ-2	33.06	17.67	3.56	5.51
HTP-1	10.37	21.96	6.37	18.90

从表 3 可以看出，茶叶中 Cu、Fe、Mn 和 Zn 的溶出率分别为：4.86% ~52.32%、5.86% ~38.34%、1.50% ~18.92% 和 0.72% ~39.27%. 此外，茶叶中 4 种金属元素溶出率变异系数较大（*CV*(Cu) = 57.41%、*CV*(Fe) = 39.99%、*CV*(Mn) = 67.95% 和 *CV*(Zn) = 68.39%），表明不同茶园茶叶中 4 种元素水溶性形式存在的含量差异较大.

2.4 土壤 - 茶叶中 Cu、Fe、Mn 和 Zn 含量的相关性

采用 SPSS25 数据分析软件对土壤 - 茶叶中 Cu、Fe、Mn 和 Zn 元素含量的相关性进行分析，结果如表 4 所示.

表 4 土壤 - 茶叶中 Cu、Fe、Mn 和 Zn 含量的相关性

元素		茶叶 Cu	茶叶 Fe	茶叶 Mn	茶叶 Zn
土壤 Cu	皮尔逊相关性	0.119	-0.076	0.144	-0.113
	Sig.（双尾）	0.547	0.702	0.466	0.566
土壤 Fe	皮尔逊相关性	0.219	-0.047	-0.101	0.012
	Sig.（双尾）	0.263	0.812	0.609	0.952
土壤 Mn	皮尔逊相关性	-0.198	-0.051	0.201	0.124
	Sig.（双尾）	0.313	0.798	0.306	0.530
土壤 Zn	皮尔逊相关性	0.241	-0.096	0.014	-0.136
	Sig.（双尾）	0.216	0.627	0.945	0.490
样本数		28	28	28	28

分析结果显示，土壤 - 茶叶中 4 种元素含量相关性 Sig.（双尾）值在 0.306 至 0.812 之间（$P > 0.05$），表明茶园土壤 - 茶叶中 4 种元素含量之间差异无统计学意义.

2.5 茶叶中 Cu、Fe、Mn 和 Zn 的含量与溶出率的相关性

采用 SPSS 25 数据分析软件对茶叶中 Cu、Fe、Mn 和 Zn 的含量与溶出率的相关性进行了分析，分析结果如表 5 所示.

相关性分析显示，茶叶中 Cu 含量与 Cu 的溶出率呈极显著负相关，与 Zn 的溶出率呈极显著正相关；茶叶中 Fe 含量与 Fe 的溶出率呈极显著负相关；茶叶中 Zn 含量与 Mn 的溶出率呈显著正相关，与 Zn 的溶出率呈极显著负相关.

表 5 茶叶中 Cu、Fe、Mn 和 Zn 的含量与溶出率的相关性

元素		溶出率 Cu	溶出率 Fe	溶出率 Mn	溶出率 Zn
茶叶 Cu	皮尔逊相关性	-0.707**	-0.106	-0.291	0.618**
	Sig.（双尾）	0.000	0.591	0.133	0.000
茶叶 Fe	皮尔逊相关性	-0.108	-0.745**	-0.140	0.093
	Sig.（双尾）	0.585	0.000	0.479	0.637
茶叶 Mn	皮尔逊相关性	0.111	0.276	0.124	0.089
	Sig.（双尾）	0.573	0.154	0.529	0.652
茶叶 Zn	皮尔逊相关性	0.291	0.282	0.407*	-0.600**
	Sig.（双尾）	0.134	0.145	0.032	0.001
样本数		28	28	28	28

注：表中 * 表示在 0.05 级别（双尾）显著相关；** 表示在 0.01 级别（双尾）极显著相关.

3 结论

1）土壤中 Cu、Fe、Mn 和 Zn 的含量分别在 6.28 ~52.72 mg/kg、12 834 ~34 098 mg/kg、41.1 ~3 057.0 mg/kg 和 18.39 ~706.90 mg/kg 之间. Cu、Mn 和 Zn 这 3 种元素的变异系数过大（*CV*(Cu) = 67.81%、*CV*(Mn) = 104.90% 和 *CV*(Zn) = 99.48%），可能与采样的分布区域广有关.

2）茶叶中 Cu、Fe、Mn 和 Zn 的含量分别在 3.67 ~ 1 4.14 mg/kg、12.16 ~ 282.40 mg/kg、151.2 ~2 472.0 mg/kg 和 4.96 ~285.50 mg/kg 之间. Fe、Mn 和 Zn 这 3 种元素的变异系数过大（*CV*(Fe) = 82.46%、*CV*(Mn) = 60.07% 和 *CV*(Zn) = 142.60%），可能与采样的分布区域广以

及其在土壤中的存在形态不同有关. 此外，绝大部分茶叶中的 Mn 含量比土壤中的含量高，表明茶叶对 Mn 元素有一定的富集作用.

3）茶叶中 Cu、Fe、Mn 和 Zn 的溶出率分别为：4.86% ~52.32%、5.86% ~38.34%、1.50% ~18.92%和 0.72% ~39.27%. 此外，茶叶中这 4 种金属元素溶出率变异系数较大（CV(Cu) = 57.41%、CV(Fe) = 39.99%、CV(Mn) = 67.95%和 CV(Zn) = 68.39%），表明不同茶园茶叶中这 4 种元素水溶性形式存在的含量差异较大.

4）茶叶中 Cu 含量与 Cu 的溶出率呈极显著负相关，与 Zn 的溶出率呈极显著正相关；茶叶中 Fe 含量与 Fe 的溶出率呈极显著负相关；茶叶中 Zn 含量与 Mn 的溶出率呈显著正相关，与 Zn 的溶出率呈极显著负相关

［参考文献］

［1］CABEERA C，GIMÉNEZ R，LÓPEZ M. Determination of tea components with antioxidant activity［J］. Journal of Agricultural and Food Chemistry，2003，51（15）：4427 –4435.

［2］苏涛，毛永杨，李智高，等. 普洱茶保健功效及其特征物质研究进展［J］. 食品安全导刊，2019，44（9）：65 –67.

［3］覃健军. 普洱茶生茶抗运动疲劳作用研究［J］. 福建茶叶，2018，40（1）：302 –303.

［4］赵保路. 茶多酚的抗氧化作用［J］. 科学通报，2002，47（16）：1206 –1210.

［5］李拥军，施兆鹏. 茶叶防癌抗癌作用研究进展［J］. 茶叶通讯，1997（4）：11 –16.

［6］林斌结，林月华，董直文，等. 有机肥对茶园土壤酸碱性的影响［J］. 茶叶，2019，45（3）：142 –144.

［7］赵丰华，付群英，徐秀丽，等. 狮河区茶园土壤养分状况分析与评价［J］. 中国土壤与肥料，2019（2）：171 –176.

［8］杨广容，马燕，蒋宾，等. 基于 16S rDNA 测序对茶园土壤细菌群落多样性的研究［J］. 生态学报，2019，39（22）：8452 –8461.

［9］王峰，陈玉真，吴志丹，等. 化肥减施对茶园土壤细菌群落结构及多样性的影响［J］. 茶叶学报，2020，61（4）：160 –167.

［10］杨婉秋，王畅，肖涵. 云南凤庆茶园土壤中重金属元素的形态分布特征［J］. 昆明学院学报，2019，41（3）：52 –55.

［11］黄华斌，林承奇，于瑞莲，等. 安溪铁观音茶园土壤重金属分布及污染评价［J］. 环境化学，2018，37（5）：85 –92.

［12］段凤敏，孙力元，保志娟. 茶叶中重金属检测的质量控制及标准物质研究进展［J］. 安徽农业科学，2020，48（23）：39 –42，51.

［13］缪德仁，李晓，杨婉秋. 云南凤庆茶叶中铜、铅、锌、镉、铬和砷的健康风险评估［J］. 昆明学院学报，2019，41（3）：56 –60.

［14］查旻昱，吴悠，张梁. 茶叶中挥发性香气物质研究进展［J］. 食品安全质量检测学报，2020，11（13）：298 –303.

［15］官金艳，董军，韩艳云，等. 茶叶中农药多残留测定的样品前处理方法综述［J］. 湖北农业科学，2020，59（S1）：20 –27.

［16］刘燕飞，李荭荭，黄幸然，等. 镉和铅在茶园土壤：茶树系统中分布及迁移特征［J］. 福建农林大学学报（自然科学版），2019，48（3）：116 –121.

［17］颜媛，张琼，朱丽江，等. 云南省保山市不同茶叶中重金属浸出特征分析［J］. 昆明学院学报，2016，28（3）：43 –48.

［18］周亶，蒋东云，崔林影. 茶叶水中重金属铅、铜、锌、锰的浸出率试验研究［J］. 食品科技，2010，35（1）：285 –288.

［19］李强，韩文炎，李鑫，等. 气候变化对茶园土壤质量和茶树营养元素含量的影响［J］. 中国茶叶，2020，42（8）：1 –4.

［20］中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值［M］. 北京：中国环境科学出版社，1990：346 –482.