

湖北茶园茶叶氟含量及土壤氟分组^{*}

王凌霞¹ 付庆灵¹ 胡红青^{1*} 闵艳林^{1,2} 叶发兵²

(1. 华中农业大学资源与环境学院, 武汉, 430070 2 黄冈师范学院生命科技学院, 黄冈, 438000)

摘 要 测定了湖北省 14 个茶园土壤和 14 种茶叶的氟含量和土壤氟的分组特征, 探讨了各分组土壤氟含量与土壤理化性质及茶叶氟含量的相关性. 结果表明, 湖北地区茶园老叶氟含量为 321. 1—2273. 9 mg kg⁻¹, 嫩叶氟含量为 56. 6—1805. 7 mg kg⁻¹. 同一茶园内老叶氟含量大于嫩叶, 老茶叶氟积累明显. 随着土壤深度的增加, 总氟含量降低, 而其它形态氟含量变化不一, 各土壤氟含量均表现为: 残渣态 > 有机结合态 > 铁锰结合态 > 水溶态 > 交换态, 残渣态氟是茶园土壤中氟的主要形态. 全氟含量与总 P 呈显著正相关, 水溶性氟含量与土壤 pH、CEC 和交换性 Ca 呈显著正相关. 交换态氟含量与粘粒、CEC、游离 Al 和游离 Fe 都呈极显著正相关关系. 铁锰结合态氟与 pH、交换性 Ca 和全 P 呈极显著正相关, 而与无定形 Al 和游离 Al 呈显著负相关. 有机结合态与交换性 Ca 和全 P 呈极显著正相关. 土壤有机质和无定形 Fe 对土壤中各形态氟的含量没有显著影响. 然而, 茶叶中氟含量只与土壤中铁锰结合态氟呈显著相关, 与其它各形态氟含量相关性不显著.

关键词 茶园, 土壤, 氟, 分组.

饮茶是人类摄取氟的重要来源, 适量的氟有利于预防龋病和骨组织的强化, 但过量的氟会对人体造成不可逆转的伤害, 如关节疼痛、活动受限、驼背、跛行等氟骨症. WHO 推荐人体摄入氟含量为每日 2. 5—4 mg, 成人每日为 3—4 mg, 儿童每日为 1—2 mg. Lung 等^[1]通过对 132 种茶叶样品的分析, 发现袋装茶叶中平均氟含量为 1342. 5 mg kg⁻¹, 市售茶饮料中平均氟含量为 25. 7 mg L⁻¹. Shu 等^[2]研究表明四川砖茶氟含量显著高于绿茶, 而砖茶中的氟是成人氟中毒的主要来源^[3], 可导致人体尿液中氟含量较高^[4].

茶叶中的氟主要来源于土壤, 针对我国土壤氟的含量已有大量研究. 西藏土壤中氟的平均含量为 506 mg kg⁻¹, 明显高于全国 440 mg kg⁻¹ 的平均水平^[5]. 皖北地区土壤全氟含量为 265. 8—612. 8 mg kg⁻¹, 平均含量为 423. 7 mg kg⁻¹^[6]. 广东省土壤氟平均含量 407 mg kg⁻¹^[7]. 但是, 有关茶叶氟含量与茶园土壤氟含量以及茶园土壤氟含量与土壤理化性质相关性的报道不多, 有待进一步研究. 研究茶叶氟含量和土壤氟的形态分布及其相关关系, 对了解茶叶和茶园土壤中氟的分布规律、调控茶叶氟含量、保护人类健康具有重要意义.

本文采集了湖北省 14 个茶园土壤和 14 种茶叶样品, 探讨了不同地区茶叶的氟含量和不同层次土壤氟的形态分布特征, 分析了茶叶氟含量与土壤氟形态以及土壤氟含量与土壤理化性质的关系, 以期茶叶降氟和茶园土壤管理提供科学依据.

1 材料与方法

1. 1 样品的采集及制备

2009 年 9 月—12 月在湖北省赤壁 (CB)、谷城 (GC)、英山 (YS)、大悟 (DW)、咸安 (XA)、竹山 (ZS)、夷陵 (YL) 采集了 14 个茶园土壤 (茶园代号分别为 CB1、CB2、GC1、GC2、YS1、YS2、DW1、DW2、XA、ZS1、ZS2、YL1、YL2、YL3) 和 14 个茶叶样品 (老叶和嫩叶, 嫩叶为一芽两叶). 0—20 cm、20—40 cm 两层次的土壤样品分别以 A、B 表示, 自然风干, 去除石渣和动植物残体等, 研磨过筛, 保存备用. 茶叶样品用蒸馏水冲洗干净后, 于 105 ℃ 杀青 0. 5 h, 然后于 50 ℃ 烘干, 粉碎后保存备用.

2010 年 4 月 7 日收稿.
^{*} 湖北省教育厅重点科研项目 (D20092702) 资助.
^{**} 通讯联系人, Email: hqh@mail.hzau.edu.cn

1.2 土壤理化性质的测定

土壤 pH 采用电位法测定 (水土比 2.5:1); 有机质 (OM) 含量采用重铬酸钾容量法测定; 粘粒 (<0.002mm) 含量采用吸管法; 交换性 Ca 用醋酸铵提取原子吸收分光光度法测定; 阳离子交换量 (CEC) 采用乙酸铵交换法测定; 全 P 采用 H₂SO₄-HClO₄ 消煮法测定; 游离 Fe-A 采用 DCB 溶液提取, 无定形 Fe-A 采用草酸铵缓冲液提取, 提取液用 ICP 测定. 供试土壤的基本理化性质见表 1.

表 1 供试土壤的理化性质
Table 1 Physical and chemical properties of tested soils

	pH	OM (g kg ⁻¹)	粘粒 (%)	CEC (mol kg ⁻¹)	交换性 Ca/ (mol kg ⁻¹)	全 P/ (g kg ⁻¹)	无定形 Al (g kg ⁻¹)	无定形 Fe/ (g kg ⁻¹)	游离 Al/ (g kg ⁻¹)	游离 Fe/ (g kg ⁻¹)
CB1	A 3.90	27.22	28.82	13.18	1.41	0.83	13.73	14.25	6.37	36.86
	B 3.96	22.01	23.23	10.08	0.57	0.55	14.09	21.19	5.63	32.65
CB2	A 4.52	16.84	52.03	18.54	2.43	0.51	15.94	10.37	7.47	51.19
	B 4.40	10.84	49.35	20.61	1.33	0.42	15.42	7.86	7.38	53.82
GC1	A 5.42	31.01	9.36	9.82	4.73	0.34	8.34	11.65	1.55	11.73
	B 5.83	17.61	6.60	9.10	4.88	0.32	9.81	11.30	1.49	12.41
GC2	A 4.90	26.75	11.59	15.14	5.18	0.60	5.63	28.97	1.12	14.27
	B 5.93	10.75	5.73	10.59	6.38	0.58	4.53	22.62	0.99	15.54
YS1	A 4.52	16.84	52.03	18.54	2.43	0.51	15.94	10.37	7.47	51.19
	B 5.71	10.17	5.14	13.48	8.47	2.49	5.64	12.21	0.95	13.58
YS2	A 5.09	53.35	5.69	12.60	4.67	1.83	7.33	11.16	1.58	13.76
	B 4.93	8.48	2.91	11.78	5.42	1.71	5.64	10.09	1.34	16.21
XA	A 3.82	35.76	36.90	13.79	0.87	0.70	18.30	13.91	5.30	31.87
	B 4.06	26.48	39.43	12.18	0.78	0.46	19.24	13.32	5.28	32.19
DW1	A 4.53	10.90	3.68	10.51	2.61	0.71	7.41	11.59	3.00	32.63
	B 5.07	6.57	6.72	10.81	2.83	0.72	8.47	14.29	3.18	33.73
DW2	A 4.79	12.49	0.81	8.61	1.73	2.37	8.39	9.70	2.27	17.84
	B 4.82	7.69	4.32	10.22	3.10	3.77	8.75	13.97	2.47	20.91
ZS1	A 5.20	17.94	6.78	12.10	6.02	0.71	5.92	7.67	2.56	18.64
ZS2	A 5.92	20.53	37.53	25.65	12.41	0.45	7.10	8.99	2.63	23.81
YL1	A 4.82	12.02	7.37	6.43	0.78	0.18	9.43	3.54	1.23	5.98
	B 4.75	10.66	8.57	6.84	0.60	0.21	10.60	3.97	1.72	7.71
YL2	A 4.15	23.09	4.90	8.58	0.33	0.42	11.95	5.89	1.80	8.18
	B 4.72	8.85	7.33	7.58	2.01	0.23	8.58	3.77	1.41	9.38
YL3	A 3.66	33.30	15.97	12.25	0.26	0.38	15.09	16.96	2.04	9.18
	B 3.87	22.45	16.48	10.13	0.23	0.23	14.36	15.42	2.13	9.59

1.3 茶叶中氟含量的测定

称取 0.1000g 粉碎过 40 目筛的样品, 置于 50mL 容量瓶中, 加入 10mL 1 mol L⁻¹ HCl 密闭浸泡提取 1h, 不时轻轻摇动. 提取后加入 25mL 总离子强度调节剂 (TISAB), 加入去离子水至刻度, 摇匀, 用氟离子选择电极法测定茶样中的氟含量.

1.4 土壤氟的形态分析

土壤全氟含量测定采用 NaOH 碱熔法测定. 采用连续浸提法将茶园土壤分为水溶态、交换态、铁锰氧化物结合态、有机结合态和残渣态.

1.5 数据处理

数据统计处理用 SPSS 统计软件包和 DPS 数据处理系统完成.

2 结果与讨论

2.1 不同茶园茶叶中氟的含量

不同茶园茶叶氟含量见表 2. 由表 2 可见, 湖北地区茶园老叶氟含量为 321.1—2273.9 mg kg⁻¹, 嫩叶氟含量为 56.6—1805.7 mg kg⁻¹. 同一茶园内老叶氟含量高于嫩叶, 可见随着叶片的成熟, 茶叶氟积

累明显增加. 此外, 嫩叶氟含量与老叶氟含量呈显著正相关 (相关系数 $r = 0.867$, $p < 0.01$). 除了大悟茶叶氟含量较高之外, 其它地区茶叶氟含量与文献报道相近^[8-10]. 夷陵邓村茶园茶叶氟含量较低, 可能与它的高海拔气候条件有关.

表 2 湖北省不同茶园茶叶氟含量 (mg kg^{-1})

Table 2 The fluorine contents in tea leaves of Hubei tea gardens

茶 园			茶 园		
老 叶		嫩 叶	老 叶		嫩 叶
CB1	611.3	56.6	DW1	1577.8	1189.1
CB2	1170.3	259.8	DW2	2094.3	1805.7
GC1	444.1	149.7	ZS1	2273.9	1066.1
GC2	713.0	213.5	ZS2	1203.5	911.5
YS1	848.4	181.1	YL1	417.6	227.8
YS2	725.4	141.4	YL2	321.1	183.3
XA	1384.4	539.5	YL3	383.0	199.9

2.2 茶园土壤中氟的含量与分组

不同茶园土壤中各形态氟的含量测定结果见表 3. 由表 3 可见, 湖北省茶园土壤 A 层总氟含量范围为 $147.7\text{--}611.6\text{ mg kg}^{-1}$, 平均含氟量为 328.6 mg kg^{-1} , 低于全国土壤平均含氟量 478 mg kg^{-1} . B 层总氟含量范围为 $152.7\text{--}557.3\text{ mg kg}^{-1}$, 平均含氟量为 305.1 mg kg^{-1} , 低于 A 层土壤.

表 3 不同茶园土壤各形态氟的含量 (mg kg^{-1})

Table 3 Contents of different forms of fluorine in tea garden soils

	全氟 (T-F)		水溶态 (W sF)		交换态 (Ex-F)		铁锰结合态 (FeMnF)		有机结合态 (OrF)		残渣态 (ResF)	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
CB1	404.5	283.2	2.6	1.2	0.8	0.4	0.6	0.6	3.0	1.7	397.5	280.0
CB2	474.1	452.7	0.7	0.5	0.7	0.9	0.8	1.4	3.3	5.0	468.7	444.9
GC1	283.1	237.6	0.7	0.8	0.2	0.2	1.3	0.9	1.8	2.9	279.1	232.8
GC2	245.8	205.8	1.1	3.0	0.3	0.3	2.7	5.2	4.4	3.3	237.4	194.1
YS1	433.0	478.4	3.4	2.0	0.8	0.3	3.9	10.0	6.7	7.0	418.3	459.0
YS2	329.4	296.2	1.1	0.4	0.3	0.3	4.7	7.4	8.6	4.5	314.7	283.6
XA	611.6	517.6	2.4	2.0	0.6	0.7	0.9	0.8	1.7	1.5	606.0	512.5
DW 1	200.3	167.1	0.3	0.5	0.3	0.4	1.7	1.4	3.8	2.4	194.2	162.5
DW 2	425.4	557.3	1.7	1.2	0.5	0.5	5.7	4.0	4.7	4.7	412.8	546.8
ZS1	358.7	—	3.6	—	0.6	—	4.3	—	3.0	—	347.3	—
ZS2	334.5	—	6.1	—	0.7	—	4.7	—	3.1	—	320.1	—
YL1	177.7	153.7	0.4	0.2	0.3	0.3	0.5	0.2	1.6	0.1	174.9	152.9
YL2	174.6	159.4	0.2	0.2	0.2	0.7	0.2	0.9	2.6	0.0	171.5	157.6
YL3	147.7	152.7	0.5	0.2	0.1	0.3	0.2	0.3	2.2	0.0	144.6	151.8

- (1)水溶态氟 14 个茶园土壤中 A 层水溶态氟含量范围为 $0.2\text{--}6.1\text{ mg kg}^{-1}$, 均值为 1.8 mg kg^{-1} , 平均占全氟含量的 0.54% . B 层水溶态氟含量范围为 $0.2\text{--}3.0\text{ mg kg}^{-1}$, 均值为 1.0 mg kg^{-1} , 平均占全氟含量的 0.33% , 明显高于世界土壤平均值^[11]. 夷陵茶园土壤水溶性氟含量较高, 达 6.1 mg kg^{-1} .
- (2)交换态氟 A 层土壤交换态氟含量范围为 $0.1\text{--}0.8\text{ mg kg}^{-1}$, 均值为 0.4 mg kg^{-1} , 平均占全氟含量的 0.13% . B 层土壤交换态氟含量范围为 $0.2\text{--}0.9\text{ mg kg}^{-1}$, 均值为 0.4 mg kg^{-1} , 平均占全氟含量的 0.14% , 各地区交换态氟含量差异不大.
- (3)铁锰结合态氟 A 层土壤铁锰结合态氟含量范围为 $0.2\text{--}5.7\text{ mg kg}^{-1}$, 均值为 2.3 mg kg^{-1} , 平均占全氟含量的 0.70% . B 层铁锰结合态氟含量范围为 $0.2\text{--}10.0\text{ mg kg}^{-1}$, 均值为 2.8 mg kg^{-1} , 平

均占全氟含量的 0 90%. 土壤铁锰结合态氟含量差异较大, 可能与土壤中 Fe、Al 的含量有关.

(4)有机结合态氟 A 层土壤有机结合态氟含量范围为 1.6—8.6 mg kg⁻¹, 均值为 3.6 mg kg⁻¹, 平均占全氟含量的 1.09%, B 层有机结合态氟含量范围为 0—7.0 mg kg⁻¹, 均值为 2.8 mg kg⁻¹, 平均占全氟含量的 0 90%. 各地区有机结合态氟含量差异较大.

(5)残渣态氟 A 层土壤残渣态氟含量范围为 144.6—606.0 mg kg⁻¹, 均值为 320.5 mg kg⁻¹, 平均占全氟含量的 97.5%, B 层残渣态氟含量范围为 151.8—546.8 mg kg⁻¹, 均值为 298.2 mg kg⁻¹, 平均占全氟含量的 97.7%. 显然, 残渣态氟含量远远高于其它形态氟含量, 是茶园土壤中氟的主要形态.

由表 3 还可知, 随着土壤深度的增加, 总氟含量减少, 而各组分氟含量变化不一. 各层土壤氟含量均表现为: 残渣态 > 有机结合态 > 铁锰结合态 > 水溶态 > 交换态.

2 3 各组分氟的相关分析

对各组分氟进行的相关分析 (表 4) 表明, 总氟除了与铁锰结合态氟相关性不显著外, 与水溶态、有机结合态含量呈显著相关, 与交换态、残渣态含量呈极显著相关. 水溶态与交换态、铁锰结合态、残渣态都呈显著相关. 交换态除了与水溶态呈显著相关外, 还与总氟和残渣态呈极显著相关. 铁锰结合态与有机结合态呈极显著相关关系. 交换态氟含量与其它形态氟含量的逐步回归方程为: $E_x = 0.375 + 0.087W_s - 0.023FeMn$ ($r = 0.4979$ $p = 0.0378$), 表明交换态氟与水溶态氟含量呈正相关, 与铁锰结合态含量呈负相关. 这也表明茶园土壤中各形态氟是可以相互转化的.

表 4 各形态氟组分间的相关系数
Table 4 Correlation coefficients between various forms of fluorine

	T-F	W _s F	E _x -F	Fe/MnF	O _r -F	ResF
T-F	1					
W _s F	0.406*	1				
E _x -F	0.628**	0.434*	1			
Fe/MnF	0.318	0.399*	-0.050	1		
O _r F	0.420*	0.228	0.083	0.695**	1	
ResF	1.000**	0.391*	0.632**	0.292	0.397*	1

注: *、** 分别表示在 0.05、0.01 水平上存在差异. (下同).

2 4 各形态氟组分与土壤性质的相关性

各形态氟与土壤理化性质的相关性见表 5. 由表 5 可以看出, 全氟含量与全 P 呈极显著正相关, 这与 Loganathan 等^[12]的研究结果一致. 一般来说, 茶园土壤会施用一定量的磷肥, 而普通的磷肥含有一定量的氟. 因此, 长期施用磷肥会增加土壤的含氟量. 全氟与游离 Al 和 Fe 呈极显著相关.

水溶性氟含量与土壤 pH、CEC 和交换性 Ca 呈显著正相关. 土壤 pH 值降低, 土壤水溶性氟含量减少. 土壤 pH 在很大程度上改变着土壤中氟的存在形态^[13-14]. 在土壤物质组成中, 土壤腐殖质有很多活性功能团, 如 -COOH、-OH 等, 在一定条件下, 这些基团可以通过离子交换作用吸附固定氟, 土壤中的层状铝硅酸盐粘土矿物和粘粒氧化物等也可以通过静电吸附或者专性吸附固定氟, 因此, 在土壤中存在一定数量的被土壤矿物质和土壤有机质吸附的氟. 土壤吸附态氟易受环境 pH 的影响, 当土壤 pH 升高时, 吸附态氟或为 OH⁻ 所置换, 或由于土壤胶体表面电荷的变化, 使吸附态氟释放, 转化为水溶态氟, 使土壤水溶态氟含量增加^[15]. 这与马立锋等^[16]和黎成厚等^[17]的研究结果一致. 茶树生长在 pH 4.0—6.0 范围内的酸性土壤中, 在酸性条件中, 氟常与铝、镁、钙等络合, 因此土壤可溶性氟的含量与交换性阳离子有密切关系.

交换态氟含量与粘粒含量、CEC、无定形 Al、游离 Al 和游离 Fe 都呈极显著正相关. 交换态氟是指通过静电引力吸附于粘粒、有机质和水合氧化物表面可交换正电荷上的氟离子.

铁锰结合态氟与 pH、交换性 Ca 和全 P 呈极显著正相关, 而与无定形 Al 和游离 Al 呈显著负相关. 铁锰结合态氟是土壤中的氟与铁、锰及铝的氧化物、氢氧化物和水合氧化物进行吸附作用或共沉淀形式的氟. 土壤 pH 的升高使铁锰氧化物易于形成也促进了铁锰态氟的生成^[18]. 无定形 Al 和游离 Al 含量低时, 则促进氟与铁锰结合形成铁锰结合态氟.

有机结合态与交换性 Ca和全 P也呈极显著正相关. 可见交换性 Ca和全 P对土壤铁锰结合态氟和有机结合态氟含量都有影响, 它们是影响土壤中氟分布的重要因子. 土壤有机质和无定形 Fe对土壤中各形态氟的含量没有显著影响.

表 5 各形态氟与土壤理化性质的相关系数
Table 5 Correlation coefficients between various forms of fluorine and soil properties

土壤性质	T-F	W s-F	Ex-F	Fe M irF	Or-F	Res-F
pH	- 0. 054	0. 401*	- 0. 152	0. 599**	0. 387	- 0. 076
OM	0. 146	0. 155	- 0. 033	- 0. 179	0. 213	0. 147
粘粒	0. 479*	0. 240	0. 661**	- 0. 342	- 0. 153	0. 493*
CEC	0. 444*	0. 595*	0. 549**	0. 215	0. 369	0. 435*
交换性 Ca	0. 153	0. 701**	0. 062	0. 696**	0. 508**	0. 128
全 P	0. 533**	0. 115	0. 052	0. 685**	0. 666**	0. 517**
无定形 Al	0. 320	- 0. 168	0. 393*	- 0. 650**	- 0. 387	0. 344
无定形 Fe	0. 078	0. 195	- 0. 088	0. 102	0. 225	0. 072
游离 Al	0. 511**	0. 050	0. 678**	- 0. 389*	- 0. 107	0. 527**
游离 Fe	0. 523**	0. 111	0. 666**	- 0. 164	0. 106	0. 531**

2.5 茶叶氟含量与土壤氟的相关性

茶叶氟含量与土壤氟的相关性见表 6. 由表 6可知, 老叶和嫩叶氟含量与铁锰结合态氟相关系数分别为 0. 594和 0. 584, 均达到显著相关水平. 而与其它形态氟的相关系数在 0. 021—0. 466之间, 未达到显著相关. 这说明土壤中铁锰结合态氟是影响茶叶中氟含量的主要因素. 这一结果与陆景冈^[13]和郑达贤^[19]的研究结果不同, 他们认为茶叶中的含氟量只与土壤中的水溶性氟有关. 本文研究中老叶和嫩叶氟含量与水溶态氟没有显著相关, 可能是受茶树生长地区周围环境的影响, 有待进一步研究.

表 6 茶叶氟含量与土壤各组分氟的相关系数
Table 6 Correlation coefficients between fluorine contents in tea leaves and various forms of fluorine in soils

	T-F	W s-F	Ex-F	Fe M irF	Or-F	Res-F
老叶	0. 466	0. 388	0. 373	0. 594*	0. 100	0. 456
嫩叶	0. 164	0. 271	0. 100	0. 584*	0. 021	0. 153

3 结论

湖北地区茶园老叶氟含量为 321. 1—2273. 9 mg·kg⁻¹, 嫩叶氟含量为 56. 6—1805. 7 mg·kg⁻¹. 同一茶园内老叶氟含量高于嫩叶, 茶叶氟随着叶片的成熟而明显积累. 随着土壤深度的增加, 总氟含量减少, 而其它各形态氟含量变化不一. 土壤氟含量均表现为: 残渣态 > 有机结合态 > 铁锰结合态 > 水溶态 > 交换态. 残渣态氟是茶园土壤中氟的主要形态.

土壤全氟含量与总 P呈显著正相关; 水溶性氟含量与土壤 pH、CEC和交换性 Ca呈显著正相关; 交换态氟含量与粘粒、CEC、游离 Al和游离 Fe都呈极显著正相关关系; 铁锰结合态氟与 pH、交换性 Ca和全 P呈极显著正相关, 而与无定形 Al和游离 Al呈显著负相关; 有机结合态与交换性 Ca和全 P呈极显著正相关.

茶叶中氟含量只与土壤中铁锰结合态氟呈显著相关, 与其它各形态氟含量相关性不显著.

参 考 文 献

[1] Lung S C C, Hsiao P K, Chiang K M, Fluoride concentrations in three types of commercially packed tea drinks in Taiwan[J]. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, 2003, 13: 66-73
[2] Shu W S, Zhang Z Q, Lan C Y et al. Fluoride and aluminum concentrations of tea plants and tea products from Sichuan Province, PR China[J]. Chemosphere, 2003, 52: 1475-1482

[3] Cao J, Zhao Y, Liu JW, et al Brick tea fluoride as a main source of adult fluorosis[J]. Food and Chemical Toxicology, 2003, 41: 535-542

[4] Li H R, Liu Q B, Wang W Y, et al Fluoride in drinking water brick tea infusion and human urine in two counties in InnerMongolia China[J]. Journal of Hazardous Materials 2009 167: 892-895

[5] 张小平. 西藏土壤中氟的含量及其分布 [J]. 环境科学, 1998, 19(1): 66-68

[6] 于群英, 慈恩, 杨林章. 皖北地区土壤中不同形态氟含量及其影响因素 [J]. 应用生态学报, 2007, 18(6): 1333-1340

[7] Zhu L, Zhang H H, Xia B et al Total fluoride in Guangdong soil profiles China Spatial distribution and vertical variation[J]. Environment International 2007, 33: 302-308

[8] 谢忠雷, 邱立民, 董德明, 等. 茶叶氟含量及其影响因素 [J]. 吉林大学学报, 2001, 4(2): 81-84

[9] 陆英, 刘仲华. 茶叶中氟的研究进展 [J]. 吉首大学学报 (自然科学版), 2004 25(4): 84-88

[10] 陆丽君, 宗良纲, 罗敏, 等. 江苏典型茶园的茶叶氟含量及其影响因素 [J]. 安徽农业科学, 2006 34(10): 2183-2185

[11] 陈国阶, 余大富. 环境中的氟 [M]. 北京: 科学出版社, 1990 64-83

[12] Loganathan P, Gray C W, Hedley M J et al Total and soluble fluorine concentrations in relation to properties of soils in New Zealand[J]. European Journal of Soil Science, 2006 57 411-421

[13] 陆景冈, 赵小敏. 茶园土壤发育度与土壤及茶叶含氟量的关系 [J]. 茶叶科学, 1992 12(1) 33-38

[14] 吴卫红, 谢正苗, 徐建明, 等. 不同土壤中氟赋存形态特征及其影响因素 [J]. 环境科学, 2002 23(2): 104-108

[15] 陈怀满. 土壤中化学物质的行为与环境质量 [M]. 北京: 科学出版社, 2002

[16] 马立锋, 石元值, 阮建云, 等. 湘、鄂砖茶主产区茶园氟含量状况及影响因素 [J]. 茶叶科学, 2002 22(1): 34-37

[17] 黎成厚, 万红友, 师会勤, 等. 土壤水溶性氟含量及其影响因素 [J]. 山地农业生物学报, 2003 22(2): 99-104

[18] 吴洵. 茶生物圈中氟的研究现状及进展 [J]. 茶叶文摘, 1992, (2): 1-8

[19] 郑达贤, 沙济琴. 福建茶区土壤中的氟 [J]. 土壤通报, 1994, 25(5): 230-233

FLUORINE CONTENT IN TEA LEAF AND FLUORINE FRACTIONATION IN SOILS OF TEA GARDENS IN HUBEI PROVINCE

WANG Lingxia¹ FU Q ingling¹ HU Hongqing¹ MN Yanlin^{1,2} YE Fabing²

(1. College of Resource and Environment Huazhong Agricultural University Wuhan 430070, China
2. College of Life Technology, Huanggang Normal University, Huanggang 438000, China)

ABSTRACT

The fluorine content in 14 tea leaves and the fluoride fractions in 14 soils of tea gardens in Hubei province were determined to study the relationship between the fluorine content in tea leaf and the physical-chemical properties of soils. The results indicated that the fluorine content in Hubei tea ranged from 321.1 mg kg⁻¹ to 2273.9 mg kg⁻¹ for old leaves and from 56.6 mg kg⁻¹ to 1805.7 mg kg⁻¹ for young leaves. The fluorine content in old leaves was higher than that in young leaves, and the accumulation of fluorine increased significantly in old leaves. The total fluorine decreased with the soil depth, but the content of other forms of fluorine changed irregularly. The fluorine content in different layers of soils was all in the order of residual F (Res-F) > organic bound F (Or-F) > Fe(Mn) oxides bound F (FeMn-F) > water soluble F (W s-F) > extractable F (Ex-F), and the residual fluorine is the main form in tea garden soils. Total F (T-F) was positively correlated with total phosphorus at a statistically significant level. W s-F was positively correlated with pH, CEC and exchangeable Ca content significantly. Ex-F was positively correlated with clay content, CEC, free Al and free Fe contents. Fe/Mn-F was positively correlated with pH, content of exchangeable Ca and total phosphorus, but it was negatively correlated with content of amorphous Al and free Al significantly. Or-F was positively correlated with content of exchangeable Ca and total phosphorus. The different forms of fluorine were not significantly correlated with organic matter and amorphous Fe. However, fluorine content in tea was significantly correlated with FeMn-F, not with other forms of fluorine.

Keywords tea garden, soil, fluorine, fraction