

# 茶园-土壤系统铝和氟的生物地球化学循环及其对土壤酸化的影响\*

丁瑞兴 黄 骁

(南京农业大学, 210014)

## 摘 要

黄棕壤植茶以后,土壤 pH 下降,土壤酸度随植茶年限的增长而增大,且上层土壤 pH 的减幅大于下层土壤。茶园土壤的酸化是与茶树对铝和氟的生物积聚、土壤交换性铝与铝络合物的增加以及土壤盐基的淋溶有关。茶树落叶中铝和氟的含量分别高达 5836—6136 ppm 和 469—520 ppm; 茶树透冠水和土壤渗漏液中均有相当多的 Al 和 F, 茶园土壤系统中铝和氟的循环,不仅导致土壤  $Al^{3+}$  及  $F^{-}$  的增多,还使表土的有机络合态铝以及土壤交换性复合体和土壤溶液中的氟铝络合物积聚。因此,土壤中铝和氟的积累、转化及其生物地球化学循环是茶园土壤酸化的主要原因。

茶树是亚热带丘陵地区的重要经济植物,具有喜酸性土壤和暖湿气候的生态特性。在茶园土壤的一些研究报道中,已注意到植茶以后土壤酸度增加的现象<sup>[1-4]</sup>,发现高产茶园土壤的酸度均高于低产茶园土壤,密植茶园的土壤酸度高于稀植茶园土壤。关于茶园土壤酸化的原因却有不同的解释,有的认为是施用生理酸性肥料所致<sup>[1,2,5,11]</sup>;有的认为是由茶树根系分泌有机酸及  $CO_2$  所致<sup>[2,4]</sup>;也有的注意到茶树群体与土壤酸度的关系<sup>[2]</sup>;这些看法还需通过实验研究加以证明。我们认为,茶园土壤的酸化,应从茶树及其所处的环境条件去找原因,通过茶园-土壤生态系统的物质循环过程加以论证。本文拟就茶园-土壤生态系统中铝和氟等元素的生物地球化学循环过程,讨论茶园土壤酸化的机理。

## 一、研究方法

### (一) 样地状况及试区布置

1985年在江苏省金坛县茅麓茶场选择不同茶龄(28年、80年)的茶园及附近生长杉木和草类的荒地(对照),作为定位观测样区。三个样区的地形相似,均为下蜀黄土上发育的黄棕壤,茶树品种和茶园管理一致。观测研究了茶树凋落物及其分解。茶园的大气降水、茶树透冠水及土壤渗漏水的元素组成、铝和氟的形态变化,土壤中元素迁移状况等。茶树枯枝落叶用尼龙网袋(孔径 2mm)收集。落叶分解试验是将鲜叶装入细孔(0.5×0.5mm)尼龙袋,置于地面枯枝落叶层上自然分解,定期取样测定落叶分解率。茶树冠层之下设置透冠水采集装置,另设大气降水装置。上列各种装置在每个样区均有4次重复,全年逐月采集试样。在三块样地的不同土壤层段(凋落物层、10cm、25cm、50cm)设置土壤无张力

\* 本项研究得到黄瑞采教授指点,李庆康同志参加部分试验,茅麓茶场给以协助,均此致谢。

渗水器, 渗水器是根据 Jordan 的设计<sup>[12]</sup>用有机玻璃制成, 各层渗漏装置设 2 次重复, 逐月抽取渗漏水样, 各样地分别采集土壤剖面样品。

## (二) 测定方法

土壤和水样的 pH 用电位酸度计测定, 土液比为 1:1。土壤交换性阳离子用醋酸铵提取,  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$  用原子分光光度计测定,  $\text{Al}^{3+}$  用铝试剂比色法测定。水样的游离氟用氟离子选择电极测定, 接着加入 TISAB II 测定总氟量, 总氟量与游离氟的差值为络合态氟<sup>[13]</sup>。水样分别用 1:1  $\text{HNO}_3$  及 1:1  $\text{H}_2\text{O}_2$  处理后, 溶于  $\text{HCl}$  测定总铝量<sup>[7]</sup>。用 Dowex 阳离子交换柱进行水样中的铝的分级, 通过交换柱的为有机络合态铝, 而  $\text{Al}^{3+}$  及  $\text{AlF}_2^+$ 、 $\text{AlF}_2^+$ 、 $\text{AlOH}^{2+}$ 、 $\text{AlSO}_4^+$  等无机络合物则滞留在交换柱上<sup>[13,14]</sup>。根据 Lindsay 的土壤化学平衡热力学常数<sup>[15]</sup>, 应用微机算出土壤溶液中不同形态无机铝 ( $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{AlF}_2^+$ 、 $\text{AlOH}^{2+}$ 、 $\text{AlSO}_4^+$ ) 的含量。为了研究土壤中铝和氟的平衡关系, 分别用  $0.1 \text{ mol L}^{-1}$ 、 $0.01 \text{ mol L}^{-1}$  和  $0.001 \text{ mol L}^{-1}$  的  $\text{CaCl}_2$  制备土壤平衡溶液, 测定铝和氟的含量。植物样品用三酸消化制备待测液测定金属元素<sup>[7]</sup>; 用热盐酸和柠檬酸钠处理试样测定总氟量<sup>[9]</sup>。

## 二、结果和讨论

### (一) 茶园土壤的酸化特征

黄棕壤植茶以后, 土壤酸度发生变化。由表 1 可知, 荒地土壤植茶后, 1 米土体各层的  $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$  值下降, 且随植茶年限的增长而降低, 尤其上部土层的 pH 降低幅度大于下部土层。用  $1 \text{ mol L}^{-1}$   $\text{KCl}$  及  $0.01 \text{ mol L}^{-1}$   $\text{CaCl}_2$  分别制备的土壤溶液的 pH 值亦有同样的变化规律, 证明荒地开垦种茶后, 土壤呈现明显的酸化趋势。

表 1 黄棕壤植茶后的 pH 变化

Table 1 Changes of pH in yellow-brown earth after tea planting

样地 Sampling site	深度 Depth (cm)	pH		
		$\text{H}_2\text{O}$	$1 \text{ mol L}^{-1}$ $\text{KCl}$	$0.01 \text{ mol L}^{-1}$ $\text{CaCl}_2$
荒地	0—25	5.75	4.60	6.44
	25—50	5.35	4.17	5.40
	50—80	5.38	4.05	4.79
	80—100	5.53	4.12	4.97
28年茶园	0—10	4.62	3.70	4.63
	10—25	4.35	3.40	4.25
	25—50	5.08	3.95	4.47
	50—80	5.06	3.85	4.98
	80—100	5.65	4.42	5.02
80年茶园	0—10	3.65	3.07	3.62
	10—25	4.70	3.50	4.58
	25—50	4.05	3.30	3.85
	50—80	4.98	3.65	4.98
	80—100	4.78	3.90	4.80

由表 2 可知, 茶园土壤的酸度主要受交换性铝的影响。荒地 0—25cm 的土壤交换性铝含量为  $0.11 \text{ me}/100 \text{ g}$  土, 仅占有有效阳离子交换量的 0.89%, 在 28 年茶园土壤交换性铝

增至 2.83—4.28 me/100g 土, 占 24.54%—40.76%, 而在 80 年茶园土壤的交换性铝可高达 2.56—8.63 me/100g 土, 占总量的 34.32—72.95%。交换性盐基 (Mg、Ca、Na) 在茶园土壤, 特别在老茶园中则有减少。0.01 molL<sup>-1</sup> CaCl<sub>2</sub> 土壤平衡溶液中的 Al<sup>3+</sup> 含量亦在植茶后显著增加。因此, 茶园土壤的酸化是与铝的积累及盐基淋溶有密切的关系。

表 2 茶园和荒地土壤的交换性阳离子组成

Table 2 Composition of exchangeable cations in soils of tea gardens and uncultivated land

样地 Sampling site	深度 Depth (cm)	交换性阳离子组成(占总量%) Composition of exchangeable cations						ECEC (me/100g土)	0.01 molL <sup>-1</sup> CaCl <sub>2</sub> 提取 的 Al <sup>3+</sup> (me/100g土)
		H <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>		
荒地	0—25	2.43	0.89	43.43	42.75	2.59	7.86	12.35	0.006
	25—50	4.25	15.75	40.27	36.99	1.78	0.96	7.30	0.016
	50—80	4.06	18.13	36.94	37.76	1.76	1.35	7.39	0.028
	80—100	5.35	12.16	41.39	37.92	1.59	1.59	6.91	0.015
茶园 (28年)	0—10	2.86	24.54	32.70	24.89	8.67	6.34	11.53	0.278
	10—25	5.13	40.76	44.35	33.52	4.27	0.57	10.53	0.118
	25—50	3.68	5.36	46.19	41.39	2.65	0.73	12.49	0.014
	50—80	7.05	8.50	41.21	39.42	3.06	0.76	11.77	0.014
	80—100	1.48	0.42	41.78	52.81	1.47	2.04	14.24	0.001
茶园 (80年)	0—10	0.59	72.95	17.16	5.76	5.66	0.18	11.83	0.416
	10—25	4.96	34.32	40.75	16.89	2.55	0.53	7.46	0.506
	25—50	5.49	63.05	22.32	6.58	2.56	0.00	8.20	0.383
	50—80	3.66	13.25	44.40	34.70	3.34	0.65	9.28	0.018
	80—100	3.91	20.42	40.42	32.59	1.96	0.70	7.15	0.021

## (二) 茶园-土壤系统中铝和氟的生物积累

茶树是一种富集铝的植物。在亚热带常绿阔叶树的建群种中, 茶树的含铝量比青冈栎、麻栎、白栎、栲树、枫香、木荷等高出十余倍至数十倍; 在亚热带酸性土壤的富铝植物中, 茶树亦位居前列<sup>[6]</sup>。周年连续观测茶树枯枝、落叶, 透冠水、大气降水和土壤渗漏水的化学成分的结果表明, 铝对茶树生长和土壤发育有重要作用。如表 3 所示, 茶树的枯枝落叶含大量铝、锰和氟, 而钙、镁、铁的含量则不及多数常绿树种。茶树落叶的含铝量可达 5836—6136 ppm, 含氟量为 469—520 ppm; 落叶中铝、氟含量均高于枝条; 落叶和枝条中

表 3 茶树枯枝落叶的元素含量(周年平均值; 单位: ppm)

Table 3 Content (annual average, ppm) of elements in tea litters

茶园 Tea garden	凋落物 Litters	Al	F	Mn	Fe	Ca	Mg	K
28年茶园	落叶	5836	520	5940	887	5073	1821	5305
	枯枝	1170	123	4590	1015	4713	716	2180
80年茶园	落叶	6136	469	6070	1204	3700	1661	6715
	枯枝	1252	94	4660	609	4180	684	2359

的铝含量比值为 4.1, 而氟为 4.6。80 年老茶园的铝含量均高于 28 年茶园, 落叶和枯枝中的氟含量则以 28 年茶园较高。

由表 4 可知, 大气降水中含有盐基元素、 $\text{SO}_4^{2-}$  和少量  $\text{F}^-$ , 但无  $\text{Al}^{3+}$ 。雨水经过茶树冠层之后, 将枝叶中的一些元素淋出, 以致透冠水中的各种盐基元素及  $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{F}^-$  等离子大量增加, 其中  $\text{K}^+$  增加近 32 倍,  $\text{Na}^+$  增加近 10 倍,  $\text{Mg}^{2+}$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  增加约 5 倍,  $\text{F}^-$  增加 6 倍, 还有相当多的  $\text{Al}^{3+}$  及单宁存在。80 年老茶园的  $\text{Al}^{3+}$  及单宁多于 28 年茶园, 而  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$  等的含量则以 28 年茶园较多。因而茶树透冠水的 pH 值也随茶龄增加而下降。

表 4 自然降水及茶树透冠水的化学组成(单位: mg/L)

Table 4 Chemical composition of precipitation and rain throughfall of tea trees

降水形式 Type of precipitation	pH	$\text{Al}^{3+}$	$\text{F}^-$	单宁 Tannin	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$
自然降水	6.69	0	0.27	0	10.42	0.66	0.62	3.77	0.46
茶树透冠水	28年茶园	6.32	0.43	1.86	6.85	56.77	20.26	6.31	6.44
	80年茶园	6.19	0.60	1.40	7.03	52.95	23.03	6.00	4.94

茶树每年的落叶有 3661—4572 kg/ha, 枯枝有 918—1316 kg/ha。通过落叶归还土壤的铝在 28 年茶园为 21.64 kg/ha, 80 年茶园为 28.77 kg/ha; 而枯枝中的铝分别只有 2.76 kg/ha 及 1.29 kg/ha (表 5)。每年由枯枝、落叶及透冠水输入土壤的铝是老茶园多于 28 年茶园, 这些输入物在茶园物质循环系统中占主导地位。28 年茶园的落叶、枯枝和透冠水进入土壤的铝分别占其总量的 86%、11% 和 3%; 而 80 年茶园则可达 93%、4% 和 3%。可见茶园中的铝主要是通过落叶归还土壤, 而枯枝和透冠水中的铝就少得多。氟主要通过落叶及透冠水输入土壤, 分别占总氟量的 34%—46% 及 45%—54%。28 年茶园每年输入土壤的氟多于 80 年老茶园。

表 5 茶园凋落物及茶树透冠水的元素年输入量 (kg/ha)

Table 5 Input of elements in litters and rain throughfall of tea trees

茶 园 Tea garden	落 入 物 Fallen matter	F	Al	Mn	Fe	K	Ca	Mg
28 年茶园	落 叶	1.95	21.64	21.91	3.47	18.67	19.38	6.84
	枯 枝	0.18	2.76	5.90	1.63	2.95	5.89	0.95
	天然降水	0.52	0	0	0	1.36	7.31	0.94
	透冠水	3.11	0.74	0	0	37.18	3.36	3.46
	总 量	5.76	25.14	27.81	5.10	60.16	35.94	12.19
80 年茶园	落 叶	2.26	28.77	28.21	5.28	30.73	17.57	7.75
	枯 枝	0.09	1.29	4.48	0.57	2.27	4.03	0.65
	天然降水	0.52	0	0	0	1.36	7.31	0.94
	透冠水	2.22	1.01	0	0	39.70	0.54	2.79
	总 量	5.09	31.07	32.69	5.85	74.06	29.54	12.13

茶树全年都有不同数量的枝叶凋落下来,落叶盛期在3—6月,且以5月份最多,12—2月最少。茶树落叶的自然分解试验表明,分解一年后,80年茶园的落叶分解率为26.7%,28年茶园为34.7%。落叶分解过程中各元素受到不同程度的淋失,其中K、Mg损失约50%,Ca 35%—65%,F 41.8%—50.4%,Mn 约20%;而Al的损失很小,28年茶园减少10.9%,老茶园几未减少。元素的迁移次序为  $K > Mg > F > Ca > Mn > Al$ 。由图1可见,茶树落叶分解一年后,干物质的含铝量显著增加,28年茶园由0.84%增至1.15%,而80年茶园由0.68%增至0.99%。氟的含量则趋于减少,28年茶园降至563ppm,80年茶园降至473ppm。这些分解产物残留在土壤表层,可进一步向土壤中移动和转化,进入土壤溶液及土壤胶体复合体,成为茶树铝营养给源,并为土壤酸化创造条件。

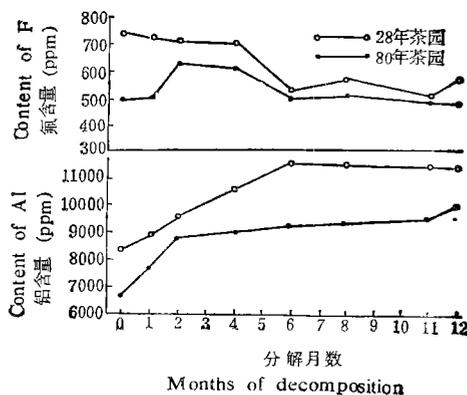


图1 茶园落叶分解过程中铝和氟含量的变化  
Fig. 1 Change of Al and F content in decomposition of tea fallen leaves

(三) 土壤渗漏液的化学成分及元素迁移特征

从土壤渗漏液中化学元素的垂直变化可以看出(图2),茶园土壤渗漏液的Ca、Mg、Na、K的含量比荒地大得多,可超过数倍至数十倍。Ca、Mg、Na在荒地的上、下土层之间垂直变化不大,而在茶园土壤则向下层增多。K在残落物层大量淋出,但在表土层以下明显减少。渗漏液中的盐基含量的垂直分布适与土壤交换性盐基含量呈相反的关系,即荒地土壤的交换性盐基数量大大超过茶园土壤(见表2),说明茶园土壤的交换性盐基已受到淋溶而向下层迁移,这与土壤  $Al^{3+}$  的置换作用有一定的关系。渗漏液中的铝和单宁在土壤上层(0—10cm)最多,向下显著减少;80年茶园土壤渗漏液中的铝比28年茶

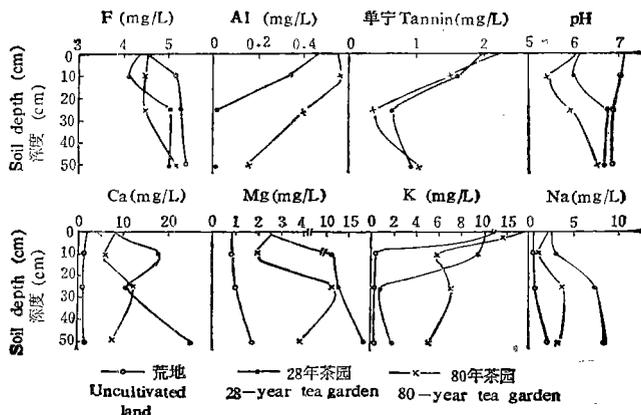


图2 土壤渗漏液化学成分的剖面分布

Fig. 2 Distribution of chemical constituent in percolating solution of soil

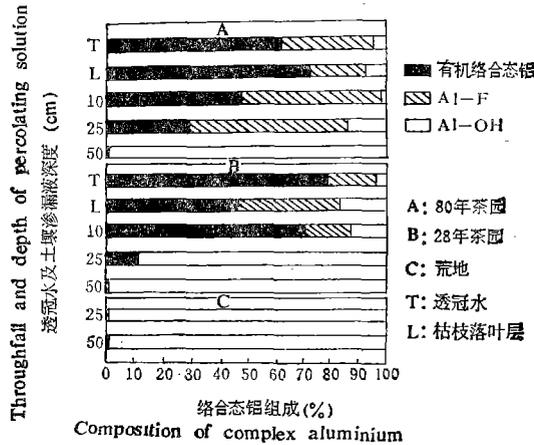


图3 茶树透冠水及土壤渗漏液中铝形态的分布

Fig. 3 Forms of aluminium in throughfall water and percolating solution of soil

园土壤又多。因此,茶园土壤渗漏液的 pH 呈明显的酸化特征。

关于茶园土壤渗漏液及茶树透冠水的铝形态,测定结果(图3)表明,土壤溶液的铝主要以络合形态存在,包括有机络合态铝、氟铝络合物、羟基铝络合物和极少量的  $AlSO_4$  (占总铝量的 0.01% 以下)。有机络合态铝在土壤表层可占总铝量的 48—72%, 这可能与

表层土壤有机质较多有关。至 25 cm 以下有机络合态铝迅速减少, 而羟基铝占绝对优势。氟铝络合物在表层土壤(0—10cm)及枯枝落叶层的含量, 28 年茶园分别为 12% 及 32%, 80 年茶园分别占 50% 及 20%; 至 50cm 以下土壤即明显消失。由此可见, 茶园土壤下层的铝形态与荒地土壤非常相近, 仍以羟基铝占绝对优势; 而表层土壤由于有机质较多, 铝和氟的生物富集使茶园土壤中的铝向络合态有机铝及氟铝络合物转变。

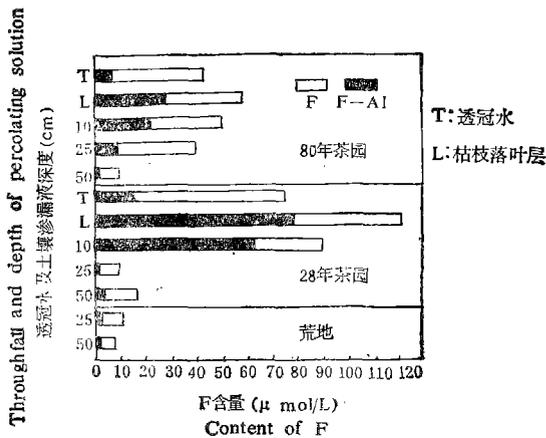


图4 茶树透冠水及土壤渗漏液中氟的含量及形态  
Fig. 4 Content and forms of fluorine in throughfall water and percolating solution of soil

氟铝络合物的比例较小。但茶园枯枝落叶层及表层土壤的渗漏液中的氟铝络合物比例较大, 在 28 年茶园分别占 69% 及 65%, 在 80 年茶园分别占 51% 及 46%。可能是透冠水中的游离氟与凋落物释放的铝相络合, 形成氟铝络合物, 被表层土壤吸附。山田秀和等<sup>[12]</sup>指出, 茶树可吸收土壤中的氟铝络合物, 并以此形态向叶部转移。用  $CaCl_2$  提取酸性土壤的可溶性氟, 大多是氟铝络合物形态<sup>[10]</sup>。我们用不同浓度 ( $0.1 \text{ molL}^{-1}$ ,  $0.01 \text{ molL}^{-1}$ ,  $0.001 \text{ molL}^{-1}$ )

氟铝络合物在酸性土壤溶液中主要呈  $AlF_2^{2+}$ 、 $AlF_2^+$ 、 $AlF_3$  的形态存在<sup>[6]</sup>。图4表明, 茶树透冠水中的氟以游离  $F^-$  为主, 可占总氟量的 81%—82%, 而氟

的  $\text{CaCl}_2$  平衡溶液提取的土壤 Al 和 F 的结果表明(表 6), 无论是茶园土壤, 还是荒地土壤(表土层除外), 土壤 Al 和 F 的含量是随  $\text{CaCl}_2$  浓度的增高而增多, 其变幅在茶园土壤的上层(0—50cm) 尤为明显。其次, 荒地土壤表层(0—25cm) 的 Al 和 F 的含量均低于下部各层土壤, 且有向下迁移趋势; 而茶园土壤的 Al 和 F 主要集积于表层土壤, 且随植茶年限增加而使 Al 和 F 的累积层趋于增大。这些结果进一步证明: 茶园土壤的 Al 和 F 的含量比荒地土壤高是由茶树生物累积所致; 茶园土壤 Al 和 F 的同步增减反映氟铝络合物的存在, 氟铝络合物呈离子态被茶园土壤吸附, 并在土壤溶液中保持平衡。

表 6 不同浓度  $\text{CaCl}_2$  提取的土壤 Al 和 F 的数量  
Table 6 The contents of Al and F in soil extracted by different concentration solution of CaCl

样地 Sampling site	深度 Depth (cm)	土壤 Al 含量 (ppm) Content of Al			土壤 F 含量 (ppm) Content of F		
		$0.1 \text{ molL}^{-1}$ $\text{CaCl}_2$	$0.01 \text{ molL}^{-1}$ $\text{CaCl}_2$	$0.001 \text{ molL}^{-1}$ $\text{CaCl}_2$	$0.1 \text{ molL}^{-1}$ $\text{CaCl}_2$	$0.01 \text{ molL}^{-1}$ $\text{CaCl}_2$	$0.001 \text{ molL}^{-1}$ $\text{CaCl}_2$
荒地	0—25	0.5	0.5	2.3	0.7	0.9	1.3
	25—50	10.5	1.5	0.7	2.0	1.0	1.1
	50—80	25.9	2.5	1.0	2.7	1.3	1.2
	80—100	10.3	1.4	0.9	1.8	1.1	1.3
28年茶园	0—10	78.3	24.9	18.8	52.3	16.8	9.0
	10—25	36.6	10.6	1.8	15.0	4.2	1.4
	25—50	3.4	1.3	1.2	1.4	1.3	1.1
	50—80	3.5	1.2	1.1	2.5	1.3	0.9
	80—100	0.4	0.3	0.8	0.8	0.9	1.5
80年茶园	0—10	91.5	37.4	3.7	43.2	18.9	6.5
	10—25	76.2	27.5	3.2	14.8	4.3	1.7
	25—50	94.5	34.5	3.8	15.0	10.6	2.1
	50—80	4.3	1.7	1.0	3.2	1.3	0.9
	80—100	4.7	1.8	0.9	2.0	1.2	0.8

综上所述, 茶园土壤系统中铝和氟的生物地球化学循环与土壤酸化有密切的关系。茶树吸收土壤中的 Al 和 F 在体内富集, 随着枯枝落叶及透冠水把体内的  $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{F}^-$  及 Al-F 回归土壤。凋落物分解产生的络合态有机铝和氟铝络合物, 在土壤表层积累。而  $\text{Al}^{3+}$  及 Al-F 络合离子被土壤交换性复合体吸附, 或通过渗漏水进入土壤溶液, 在交换性复合体与土壤溶液之间保持动态平衡, 可为茶树根系吸收, 又输送到树冠枝叶, 在老叶中积聚, 继而被降水淋出, 或随枝叶凋落。这种循环过程是随着茶树的成长和茶园年龄的增长而强化, 是茶园土壤酸化的物质基础。

### 参 考 文 献

- [1] 魏国雄, 1979: 茶树与土壤酸碱度。土壤肥料, 第 6 期, 20—21 页。
- [2] 孙继海、吴子铭, 1980: 茶园土壤活性酸度动态, 土壤酸化及最适酸度的初步研究。土壤肥料, 第 3 期, 16—22 页。
- [3] 宋木兰、丁瑞兴等, 1985: 江苏宜兴丘陵山区茶园土壤肥力特性的研究。南京农业大学学报, 第 4 期, 49—57 页。

- [4] 譚秀芳等, 1987: 红壤高产茶园土壤理化性质及其培肥措施的研究。土壤通报, 第1期, 35—37页。
- [5] 南京农学院农田生态室, 1983: 宜兴丘陵地区的土壤条件与茶树生长的关系。中国茶叶, 第3期, 8—11页。
- [6] 侯学煜, 1982: 中国植被地理及优势植物化学成份。99—108页, 131—138页, 358—359页, 科学出版社。
- [7] 南京土壤研究所编, 1978: 土壤理化分析。上海科技出版社。
- [8] 中国医学科学卫生研究所, 1972: 水质分析法。人民卫生出版社。
- [9] Хаземова Л. А., 1985: 植株中氟的测定。国外农业环境保护, 第1期, 33—36页。
- [10] 山田秀和, 服部共生, 1979: 土壤的可溶性フッ素存在状態にウと (第1报, 第2报)。日本土壤肥科学杂志, 50: 235—248页。
- [11] 山田秀和, 服部共生, 1980: 茶树によるフッ素・アルミニウム錯体の吸収につウと。日本土壤肥科学杂志, 51: 179—182。
- [12] Jordan Carl. F., 1968: A simple, tension-free lysimeter. Soil Sci., 105: 81—86.
- [13] Driscoll C. T., N. Van Breemen, et al., 1985: Aluminium chemistry in a forested spodosol. Soil Sci. Soc. Am. J., 49: 437—444.
- [14] Bonneau M. and Souchier B., 1982: Constituents and properties of soils. Academic press, London. New-York, 189—190.
- [15] Lindsay W. L., 1979: Chemical equilibria in soils. Awiley-Intersci. Publ. John wiley & sons, New-York.
- [16] Plankley Brian J. and Howard H. Patterson, 1986: Kinetics of aluminium fluoride complexation in acidic waters. Environ. Sci. Technol. 20: 160—165.
- [17] Обухов А. И., Метревли Л. З., 1982: Влияние длительного и систематического применения минеральных удобрений на состояние химических элементов в красноземах. Вестн. Моск. унта, сер. 17. Почвоведение; № 4.

## BIOGEOCHEMICAL CYCLE OF ALUMINIUM AND FLUORINE IN TEA GARDEN SOIL SYSTEM AND ITS RELATIONSHIP TO SOIL ACIDIFICATION

Ding Ruixing and Huang Xiao

(Nanjing Agricultural University, 210014)

### Summary

This article deals with the influence of tea plantation on the acidification of yellow-brown earth. The soil pH decreased after planting tea, and the soil tended to be further acidified with the time of growing tea. The decrement of soil pH was higher in upper layers than in lower layers. The acidification of soil in tea garden was related to the biological accumulation of aluminium and fluorine by tea trees, to the increase of soil exchangeable aluminium and aluminium complexes, and to the eluviation of basic cations in soils. The contents of aluminium and fluorine in the fallen leaves of tea were 5836—6136 ppm and 469—520 ppm respectively, and the aluminium content in the percolating solution of soil in tea garden decreased from 0.46—0.55 mg L<sup>-1</sup> in the litter floor to 0.01—0.15 mg L<sup>-1</sup> in the 50 cm deep soil. Aluminium and fluorine cycle in tea garden resulted in not only the increase of Al<sup>3+</sup> and F<sup>-</sup> in soil but also the accumulation of organic complex aluminium in surface soil and aluminium-fluorine complexes in soil exchangeable complexes and soil solution. Therefore, the accumulation of aluminium and fluorine in soils and its biogeochemical cycle were the main reason for the acidification of soils in tea gardens.