

磁磚廠周邊茶樹及雜草受氟害之徵狀及氟累積量之研究

李貽華* 徐慈鴻 蔣慕琰

行政院農業委員會 農業藥物毒物試驗所 公害防治系

(接受刊載日期: 中華民國九十一年十月八日)

氟污染是屬於區域性空氣污染,其污染來源主要為煉鋁廠、磚窯廠、陶瓷廠等以黏土礦物為製品原料之產業,氟是極具植物毒性之空氣污染物。茶屬耐氟植物,本研究主要探討磁磚廠周邊茶樹受害原因及周邊植物葉部氟累積量,分別採磁磚廠西南側(SW)、西側(W)及東北側(NE)茶葉及菊科雜草,以氟離子選擇性電極進行氟含量分析。磁磚廠西南側茶園落葉嚴重,茶葉葉尖及葉緣枯乾,葉片平均氟含量達 $2463 \pm 256 \text{ mg/kg}$,西側茶園葉片平均氟含量達 $1693 \pm 194 \text{ mg/kg}$,東北側茶園無受害情形,葉片平均氟含量達 $1086 \pm 92 \text{ mg/kg}$ 。受害葉片枯褐部位之氟累積量最高值為 3570 mg/kg ,西側樣點茶樹葉片枯褐部位之氟累積量最高值為 2135 mg/kg ,受害程度愈大者其枯褐部位之氟累積量愈高,枯褐部位之氟累積量約為綠色部位之 1.6 倍。西南側樣點園區內雜草葉片之氟含量為 $1406\text{-}4307 \text{ mg/kg}$,出現輕微受害徵狀之野塘蒿葉片氟含量為 5526 mg/kg ,是同區內無受害徵狀野塘蒿之 2.9 倍。由受害徵狀及植體之氟含量確定本區域茶樹遭磁磚廠排放之氟化物污染危害,並推估茶樹受害氟危害之臨界濃度約 2000 mg/kg 。昭和草、咸豐草、藿香薊及野塘蒿等野草具有耐氟及累積高量氟化物之特性,應適合作為本土性氟污染監測植物。

關鍵字: 氟化物, 累積性, 茶葉, 雜草, 磁磚廠。

Fluoride Accumulation and Leaf Injury of Tea and Weeds in the Vicinity of a Ceramics Factory

Yi-Hwar Lee*, Tsyr-Horng Shyu and Mou-Yen Chiang

Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substances Research Institute, Council of Agriculture,
Wufeng, Taichung, Taiwan

(Accepted for publication: October 8, 2002)

Fluoride is a locally important pollutant, which is released into the atmosphere whenever clays, rocks, coal, or ores containing it are heated. In Taiwan, factories producing bricks, pottery, ceramics, and aluminum are major pollution sources often associated with fluoride-related crop injury. Fluorides are highly phytotoxic to susceptible species. Tea is a fluoride-tolerant species that has a capacity for accumulating high levels of fluoride in leaves. The purpose of this study is to find out the reason for tea injury. We investigated fluoride accumulation in the leaves of tea and weeds near a ceramics factory. The mean leaf fluoride content in tea from tea plantations southwest, west, and northeast of the factory was $2463 \pm 256 \text{ mg/kg}$, $1693 \pm 194 \text{ mg/kg}$, and $1086 \pm 92 \text{ mg/kg}$, respectively. *Camellia sinensis* L. sampled from the area southwest of the factory had significantly higher levels of foliar fluoride than did that from the area northeast of the factory. The fluoride content in the necrosis part was 3570 mg/kg in the severely damaged area (southwest of the factory) and 2135 mg/kg in the slightly damaged area (northeast of the factory). The average levels of fluoride in the weeds ranged from $1406\text{-}4307 \text{ mg/kg}$ in the area southwest of the factory. The fluoride content in slightly damaged leaves of *Conyza sumatrensis* was 5526 mg/kg . Tea is a natural accumulator of fluoride. Tea shows injury when the fluoride content of the leaves is more than 2000 mg/kg . A number of native weeds are tolerant to fluoride and accumulate high levels of fluoride on their foliage. *Bidens pilosa* L., *Conyza sumatrensis* (Retz.) Walker, *Crassocephalum crepidioides* (Benth.) S. Moore, and *Ageratum conyzoides* L. seem to be the best native species in Taiwan for monitoring anthropogenic fluoride levels through leaf analyses.

Key words: Fluorides, Accumulation, Tea, Weeds, Ceramics.

* Corresponding author, E-mail: yhl@tactri.gov.tw

前 言

陶磁磚窯業、煉鋁業、玻璃纖維製造業及磷肥製造業等以黏土礦物為製品原料之產業，在高溫燒製過程中，黏土礦物所含微量的氟會以粒狀或氣狀的形式隨熱氣由煙囪排放至大氣中，無適當的防污設備或防污設備的效率不彰，氟化物則隨廢氣飄散，造成空氣污染^(1,2)。

氟化物屬於極具植物毒性之空氣污染物，進入植物體後移至葉尖及葉緣處累積，對細胞造成傷害。其危害植物之徵狀包括葉綠素消失、組織黃化、葉尖及葉緣枯乾，嚴重時葉片會出現變形、捲曲、皺折及壞疽等現象。造成傷害的臨界濃度(threshold concentration)則因植物種類而異^(1,3-9)。唐菖蒲屬植物(*Gladiolus sp.*)、松(*Pinus ponderosa*)等為對氟化物之敏感植物，葉片出現受害徵狀時，其氟化物累積量低於 30-50 mg/kg。香蕉亦屬對氟污染敏感植物⁽¹⁰⁾，其葉片氟累積量在 40 mg/kg 時，葉緣出現枯乾、壞疽之受害徵狀。芹菜(*Apium graveolens*)及菠菜(*Spinacia oleracea*)等為耐氟植物，葉片累積氟化物達 2000-2500 mg/kg 仍無受害徵狀顯現⁽¹¹⁾。氟化物是空氣中之濃度與植物葉部累積量有直接相關性之污染物之一，污染源周邊植物明顯有氟之累積現象⁽¹²⁾。研究指出^(5,13)，在低濃度氟污染環境下，植物葉片雖無異常徵狀出現，卻影響植物正常進行各種生理生化作用，導致生長發育受阻或果實產量減少。

茶樹(*Camellia sinensis* L. Kuntze)為山茶科茶屬之多年生常綠灌木，適合生長於氣候溫和、濕度高、雨量多的環境，台灣地區茶樹種植面積約 21,000 公頃。茶園 70% 以上位於山坡地，土壤母質主要為紅、黃壤，有機質含量低，土壤酸性強(pH 4.5-5.4)^(14,15)。茶樹為耐氟植物，能累積高量氟而無受害徵狀，其耐氟機制與鋁的累積有關，酸性土壤中可溶性鋁含量高，對多數植物造成毒害時，茶樹在生育過程不斷自土壤以氟化鋁離子態形式(AlF^{2+} 、 AlF_2^+)吸收累積鋁及氟，同時能免除鋁及氟的危害而正常生長^(3,6,16-19)。研究指出^(16,19)，茶樹之成熟葉片鋁及氟的含量具顯著相關性，茶樹株齡越長、葉片越成熟者，氟之累積量越高。正常環境中茶樹之成熟葉片平均氟含量可達數百 mg/kg 以上。

1996 年一月下旬，桃園龍潭地區發生磁磚廠周邊茶樹嚴重落葉之情形，發生異常現象之茶園面積約 2-3 ha，受害區域主要分布於磁磚

廠西南側 30-200 m 範圍。經茶業改良場人員之鑑定，茶樹所呈現之異常徵狀非病、蟲為害或營養成分缺乏所致。另根據茶改場象氣站之天候紀錄資料，亦無天候異常致害之普遍性。園區內茶樹除嚴重落葉外，葉片呈現葉尖、葉緣枯乾捲曲之現象，枯乾部位並呈不規則狀剝落，疑似氟化物為害之徵狀。雖然茶樹為耐氟植物^(6,17)，國內外未曾提到茶樹因氟污染危害產生受害徵狀之相關報告，本研究針對磁磚廠周邊茶樹及野草進行徵狀調查及植體氟含量分析，探討茶樹之異常徵狀是否為磁磚廠排放之氟化物所導致，並推估茶樹受氟危害之臨界濃度。

材 料 與 方 法

一、調查區域及採樣方法

調查區域位於桃園縣龍潭鄉南邊大型磁磚廠周邊，此區域屬於台地地形，海拔約 300-400 m，地勢高低呈東南往西北走向，種植之茶樹品種為青心大冇。於 1996 年二月中旬針對磁磚廠西南側(SW)、西側(W)及東北側(NE)之 50-200 m 範圍之茶園進行調查採樣，調查對象包括茶樹及常見一年生雜草等，調查及採樣方法如下：

1. 茶樹：以目測方式調查記錄茶樹受害的情形：於調查園區內分別自不同枝條採其完全展開之成熟葉，混合為一樣品，分別進行茶葉及茶枝氟含量分析。葉緣枯乾之受害葉片取部分將其區分為綠色及枯乾部分分別分析氟含量，對照組由桃園埔心茶業改良場提供相同品種茶樹之樣品。
2. 一年生雜草：觀察茶園區內雜草相，以菊科之野草佔多數，其他種類雜草較少，因此，以菊科野草為主要調查對象，包括：咸豐草(*Bidens pilosa* L.)、野塘蒿(*Conyza sumatrensis* (Retz.) Walker)、昭和草(*Crassocephalum crepidioides* (Benth.) S. Moore)、藿香薊(*Ageratum conyzoides* L.)等。野塘蒿取 10-12 株混合為一樣品，進行全株分析。另三種野草分別採 10-20 株混合為一樣品，每一樣品分葉部及莖部，分別分析其氟含量。於距離磁磚廠 4 km 外茶園周邊之雜草作為現地對照組(CK₁)，另取台中縣霧峰地區相同雜草作非污染區對照組(CK₂)，測其氟含量。

二、植體氟含量分析^(10, 20, 21)

採回之植體葉片經清水沖洗表面後，於 80 °C 烘乾 48 小時，磨粉，混合均勻。分析時，每一樣品秤取 0.3 g，加 5 mL 1 N 鹽酸，室溫下水平振盪一小時，取濾液調整 pH 值為 7-8，並以二次去離子水定量體積為 30 mL，再加入 30 mL 離子調整液 TISAB II [1 L 去離子水中含 57 mL 冰醋酸、58 g 氯化鈉、4.3 g CDTA (trans-1, 2-diaminocyclohexane-N,N,N',N'-tetra-acetic acid)，以 5 N NaOH 調 pH 值為 5.3-5.5]。利用氟離子選擇性電極 (ORION 9609BN, USA) 檢測氟含量 (分析主機機型 METTLER DELTA 350, UK)。

結果與討論

一、磁磚廠邊受害茶區茶樹之受害徵狀調查及氟累積量分析

茶樹為多年生灌木，屬耐氟植物^(6, 17)。陳與余之報告⁽³⁾指出，多年生植物氟害嚴重時，會出現葉片異常脫落之現象。磁磚廠西南側 30-200 m 距離之茶園為受害最嚴重之區域，受害面積約 2-3 ha，該區域多數茶樹呈現嚴重落葉，落葉比例佔整棵茶樹 30-90%，與磁磚廠距離越近之茶樹落葉程度較嚴重且葉片受害面積高 (圖一 a、b)。西側園區之茶樹落葉情形略輕微，受害茶樹之落葉比例佔整棵茶樹 20-30%，受害葉片之枯乾面積低於 30%。嚴重受害茶樹之枝條乾枯易斷，未掉落葉片其葉尖及葉緣枯乾捲曲，葉片綠色及枯乾組織間有明顯分界線 (圖一 c)。茶樹葉片呈現植物受氟化物影響之典型受害徵狀。位於磁磚廠東北側茶園之茶樹樹型完整，葉片濃綠且無異常落葉之情形 (圖一 d)。

氟含量分析結果顯示 (表一)，西南側樣點 (SW) 茶樹葉片枯褐、壞疽面積比例高，受害徵狀嚴重之葉片其枯乾面積達 65%，葉片累積高量氟化物，平均氟含量達 2463 ± 256 mg/kg，分別為西側 (W) 及東北側 (NE) 樣點葉片之 1.5 及 2.3 倍。西側樣點葉片受害徵狀佔葉片面積 30% 以下，葉片之氟含量較西南側樣點低，最高氟累積量為 1929 mg/kg。東北側樣點茶樹無受害徵狀，葉片之氟含量最低 (977-1224 mg/kg)。研究顯示，茶樹不論自大氣或土壤吸收之氟化物主要累積於葉部，非氟污染區之茶樹其成熟葉片之平均氟含量 139-1410 mg/kg

表一 不同受害程度茶葉葉片之氟化物含量
Table 1. Fluoride accumulation in tea leaves of different necrosis levels

Sampling Site ¹	Necrosis (%)	Number of samples	Leaf fluoride content (mg/kg d.w.)	
			Mean ± SD	Range
SW	20-65%	7	2463 ± 256	2060-2852
W	10-30%	4	1693 ± 194	1484-1929
NE	- ²	3	1086 ± 92	977-1224
CK	-	3	532 ± 15	518-548

1 SW (south west) is 50-200 m away from factory. W (west) is 30-100 m away from factory. NE (north east) is 30-100 m away from factory.

2 no visible injury symptom.

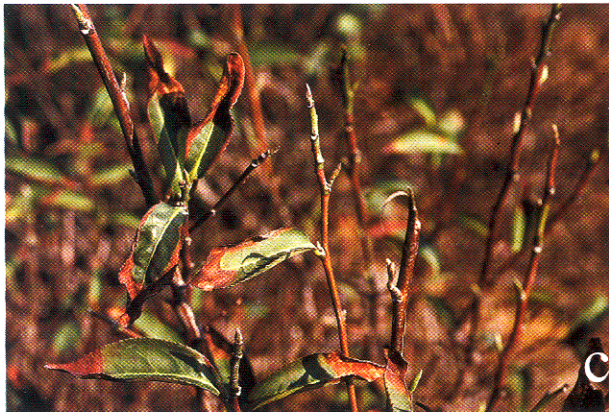
(3, 6, 16, 18, 19)。本調查中磁磚廠東北側茶園內茶樹葉片之氟累積量與非氟污染區之測值接近，與對照區 (採自埔心茶改場) 茶樹比較，磁磚廠西南、西及東北側樣點茶樹葉片之平均氟含量依序為對照區茶葉之 4.6、3.1 及 2.0 倍。將呈受害徵狀之茶葉分枯褐及綠色部位，分別分析其氟含量，結果顯示，葉片枯褐部分較綠色部分明顯累積更高量之氟化物 (表二)，西南側樣點茶樹葉片枯褐部分之氟累積量最高值為 3570 mg/kg，西側樣點茶樹葉片枯褐部分之氟累積量最高值為 2135 mg/kg，受害程度愈大者其枯褐部位之氟累積愈高。研究指出^(4, 10, 22)，氟化物累積之多寡造成葉片不同程度之受害，而不同受害程度葉片之氟含量有明顯差異，受害徵狀嚴重之葉片所測得之氟化物含量相對越高，此與本調查中受害茶葉之情形相同。西南側枯褐部分之氟累積量為綠色部分之 1.6 倍，西側枯褐部分之氟累積量為綠色部分之 1.2 倍。氟化物

表二 受害茶樹葉片枯褐部位、綠色部位及莖部之氟化物含量

Table 2. Fluoride accumulation in tea leaves from necrosis, green part, and shoot

Sampling Site ¹	Fluoride content (mg/kg d.w.)		
	Necrosis part	Green part	Shoot
SW	3219 ± 232	1978 ± 153	290 ± 41.8
W	2146 ± 123	1619 ± 116	167 ± 18.3
NE	- ²	1086 ± 92	110 ± 16.8
CK	-	532 ± 15	60 ± 6.2

1, 2 the same as in Table 1.



- 圖一 磁磚廠周邊茶園茶樹受害情形
 a. 西南側受害茶園全景(距工廠愈近之茶樹受害愈嚴重)
 b. 西南受害茶園全景(落葉嚴重)
 c. 茶葉受害徵狀(葉尖、葉緣枯乾，枯乾部位易剝落)
 d. 東北側茶園未受害

Fig. 1. The injury symptoms of tea plantation in the vicinity of the ceramics factory which is a fluoride pollution source.
 a. The injury symptoms of tea in the southwest tea plantation of the ceramics factory. The more severely damage of tea the more close to the factory.
 b. The injury symptoms of tea in the southwest tea plantation of the ceramics factory. Defoliation is very severely.
 c. The apical and marginal leaf necrosis injury symptom of tea leaves. The necrotic area drops off readily.
 d. There is no injury symptoms of tea plantation in the northeastern of the ceramics factory.

進入植體後主要累積於葉尖及葉緣處，比較茶枝之氟含量發現，磁磚廠周邊樣點茶枝之氟累積量較葉片為低，氟含量為葉片之 9.0-13.5%，但較對照區茶枝為高，枝/葉之氟含量比則相近。

茶樹葉片累積氟含量之多寡除受到污染源之影響外，茶樹之株齡及葉齡、土壤性質、季節氣候、耕作及施肥管理等也是重要影響因子^(3, 5, 19)。研究顯示^(3, 12, 22, 23)，磷肥製造廠、煉鋁廠及磚窯廠等氟污染源其排放之氟化物可影響工廠周邊數公里範圍內植物及土壤氟含量之變化。葉片為氟污染之主要累積部位，茶樹之葉片經加工處理後食用，因此，其食用安全上應予考慮。累積氟的農產品若為人畜食用，

將會對人畜造成毒害⁽²⁴⁾。在歐洲之研究指出，牛隻長期食用含有低濃度氟之牧草，而引起氟慢性中毒現象，影響鈣之代謝，造成骨質軟化、骨骼生長異常，嚴重者導至跛腿或死亡。因此，磁磚廠周邊不同方位、距離，多樣點之茶樹及其他具累積性植物之氟含量分析應予探討，以更完整評估磁磚廠排放之氟化物其影響範圍。

二、磁磚廠邊受害茶區內雜草之氟含量

空氣污染對植物之影響為全面性，只是影響程度不同。西南側樣點(SW)園區內，部分野塘蒿葉片出現輕微葉緣枯褐徵狀，受害葉片面



圖二 磁磚場西南側受害茶園區內野塘蒿葉片出現輕微葉緣枯褐徵狀

Fig. 2. The marginal leaf necrosis injury symptom of *Conyza sumatrensis* (Retz.) Walker in south-western tea plantation of the ceramics factory.

積小於 5% (圖二)。為確定其他植物是否亦受氟污染影響，除分析茶葉外，並採園區內常見之咸豐草、藿香薊、昭和草及野塘蒿等菊科草類，分別分析葉片之氟化物含量。結果顯示，西南側樣點 (SW) 園區內雜草葉片之氟含量為 1406-4307 mg/kg，出現輕微受害徵狀之野塘蒿葉片氟含量 (5526 mg/kg) 為同區內無受害徵狀者之 2.9 倍 (表三)。當葉片累積之氟化物超過容忍臨界濃度時則出現受害徵狀，本調查中茶樹受害葉片中，仍具生理功能之綠色部位測得之氟含量最高者為 1978 mg/kg，而乾枯部位測

得之最低值為 2024 mg/kg，推估茶樹葉片對氟之容忍臨界濃度約 2000 mg/kg。昭和草、咸豐草、藿香薊等野草並無異常徵狀出現，咸豐草及藿香薊之氟累積量達 3000 mg/kg 以上，顯示氟化物對上述自生植物 (野草) 之傷害臨界濃度大於 3000 mg/kg，較茶樹為高。比較樣點間昭和草及野塘蒿氟含量之高低，依序為：西南側 > 西側 > 東北側，變化趨勢與茶葉者相同。西側、東北側樣點採得之昭和草及野塘蒿氟含量為西南側同類植物之 8.6-39.4%。現地對照區 (CK₁) 雜草氟含量為 29-46 mg/kg，與台中霧峰地區 (CK₂) 相同雜草之氟含量接近，顯示土壤母質及 pH 值之差異並非導致磁磚廠周邊之野草累積高量氟化物之原因。咸豐草、藿香薊、昭和草及野塘蒿 (無徵狀者) 之氟累積量分別為對照組同類野草最高測值之 35-106 倍。莖部氟累積量之高低隨葉片氟含量而變化，草類莖部氟含量為葉部之 21.2-35.9%，較茶枝與茶葉之氟含量比 (9.0-13.5%) 為高，顯示菊科野草對氟之累積性強，耐氟性高，屬耐氟植物。空氣中之氟污染主要累積於葉部，不會轉移累積於莖部或根部，西南側樣點之咸豐草、藿香薊等野草其莖部之最高氟累積量達 1000 mg/kg 以上，從文獻資料未發現其他植物之莖部有如此高之累積量。茶樹之耐氟機制與鋁的同化有關聯，而 *Acacia georginae* 及 *Dichpeltum cymosnm* 等植物則經由將氟同化為有機酸氟或脂肪酸氟 (fluoro-organic acids and fluoro-fatty acid)

表三 磁磚廠邊 200 m 範圍內茶園內野草之氟累積量

Table 3. Fluoride accumulation in weeds from tea plantations within 200 m distance from a ceramic factory

Sampling sites	Plants	Fluoride Content (mg/kg d.w.)			
		Leaves	Stem	CK ₁ ²	CK ₂ ²
SW	<i>Bidens pilosa</i> L.	4307	1230	29	9 - 41
	<i>Ageratum conyzoides</i> L.	3141	1042	39	8 - 44
	<i>Crassocephalum crepidioides</i> (Benth.) S. Moore	1406	504	31	18 - 40
	<i>Conyza sumatrensis</i> (Retz.) Walker	1893	- ¹	46	10 - 33
	<i>Conyza sumatrensis</i> (Retz.) Walker (leaf necrosis)	5526	-		
W	<i>Crassocephalum crepidioides</i> (Benth.) S. Moore	554	118		
	<i>Conyza sumatrensis</i> (Retz.) Walker	297	-		
NE	<i>Crassocephalum crepidioides</i> (Benth.) S. Moore	129	33		
	<i>Conyza sumatrensis</i> (Retz.) Walker	164	-		

1 *Conyza sumatrensis* (Retz.) Walker just analyzed the fluoride content of leaves.

2 CK₁ was sampled at 4 km away from factory. CK₂ was sampled at different sites in Wufung (non-polluted area). The fluoride content of leaves was analyzed in the CK samples.

而能累積高量之氟化物^(3, 6, 25)，Altman 及 Dittmer⁽¹¹⁾ 之研究指出，菊科之菊苣累積氟化物達 2542 mg/kg 仍無異常徵狀出現。本調查中之昭和草、咸豐草、藿香薊及野塘蒿等為台灣地區田間常見之菊科野草，結果顯示，這些菊科野草亦可累積高量氟化物而未出現受害徵狀，菊科野草之耐氟機制值得探討。歐洲許多國家利用草本植物—多花黑麥草 (*Lolium multiflorum*) 植體中的氟累積量來推估大氣中氟化物之濃度以監測空氣品質⁽²⁶⁾。由於多花黑麥草屬冷季草，引進台灣後在中、高海拔野化為雜草，甚少見於低海拔平地，不適合作為台灣地區之氟污染指標物。昭和草、咸豐草、藿香薊及野塘蒿等野草具有耐氟及累積高量氟化物之特性，應適合作為本土性之氟污染監測指標植物。

三、茶樹及野草氟化物累積之污染源

由茶樹及雜草葉片分析結果顯示，本調查區域存在氟污染情形。相關研究報告認為，生長於土壤受氟污染區域之植物，僅根部氟含量較對照區為高，葉片之氟含量並無明顯增加之情形^(3, 6)。土壤加氟試驗結果顯示⁽³⁾，當土壤以含氟水 (1000 mg/kg) 灌溉二個月，以根部氟增加量較大，約 26-40 mg/kg，而反應到植物葉片只有增加 3-10 mg/kg。除山茶科植物外，大多數植物葉片之最高氟含量低於 100 mg/kg，因此，植物從土壤中吸收氟，主要累積於根系，但吸收的多寡主要決定於植物本身之生理特性，與土壤氟含量無明顯相關，而生長於大氣受氟污染區之植物，氟化物主要累積於葉片。大氣中氟濃度低至 1 µg/L 時仍可被葉部吸收和累積，葉片氟累積量達數百 mg/kg，最高可達 3765 mg/kg，如此高量氟化物累積之情形非土壤氟污染區所能達到⁽³⁾。茶樹屬山茶科植物，而山茶科植物具有自土壤吸收累積氟化物之特性^(16, 19)，其成熟葉片可累積氟化物達 1000 mg/kg 以上。本調查中顯示，磁磚廠周邊茶樹葉片氟含量較對照區為高，若僅認為是受到土壤氟化物之影響所導致，則污染現場之菊科雜草不應同時出現葉片累積高量氟化物之現象，現地對照組 (CK) 之野草與污染茶區之土壤具有相同母質及風化過程，生長於該地之野草其氟含量並未較台中霧峰地區之同類野草為高。至目前為止，無相關文獻顯示茶樹會由於自土壤中吸收、累積氟化物而導致葉片出現受害徵狀之情形。因此，本區域茶葉受害之氟污

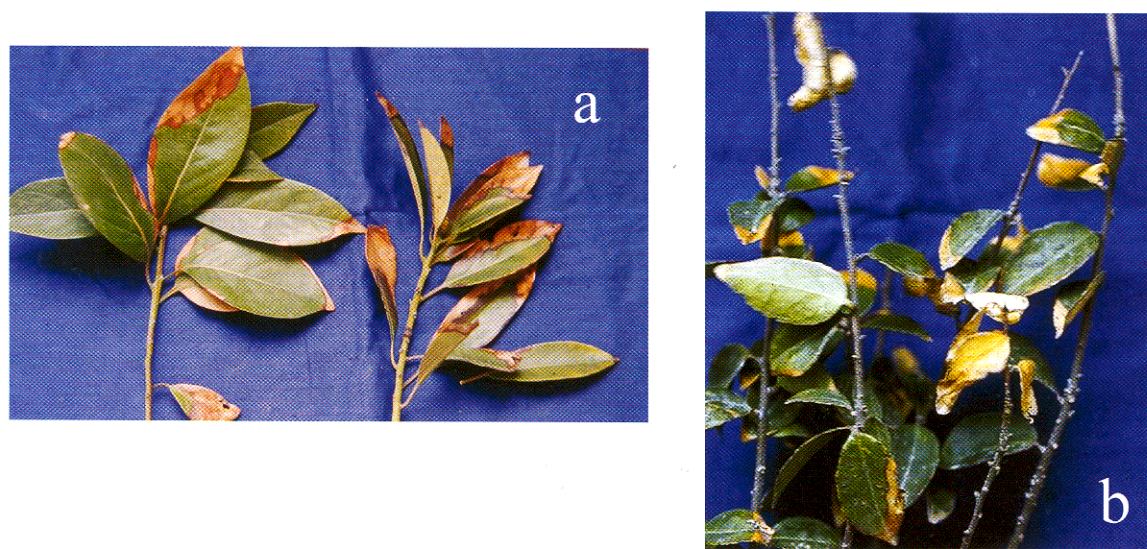
染源應來自大氣而非來自土壤。磁磚廠西南側茶園除茶樹及野塘蒿出現受害徵狀外，並觀察到多年生木本植物—紅楠 (*Machilus thunbergii* Sieb. et Zucc. 樟科楠木屬) 及黃肉樹 (*Litsea hypophaea* Hay. 樟科木薑子屬) 之葉片同樣出現葉尖及葉緣乾枯捲曲之徵狀 (圖三)。採集距離工廠約 30 m 及 200 m 區域之紅楠及約 150 m 區域之黃肉樹葉片，分析葉片之氟含量，紅楠葉片之氟累積量分別為 2644 ± 265、1903 ± 105 mg/kg (表四)，顯示氟化物有飄散之現象。葉片乾枯組織之含氟量為綠色組織之 1.4 倍；150 m 處黃肉樹葉片之氟累積量為 1184 ± 89 mg/kg，葉片乾枯組織之含氟量為綠色組織之 1.9 倍，顯示亦受氟污染。根據中央氣象局資料顯示，污染事件發生時期東北季風盛行，磁磚廠西南側茶園正好位於工廠煙囪之下風處。大氣中含氟量之梯度變化，隨著氟化物飄散距離之遠近及季風之風向，敏感的反應於植物葉片之含氟量。受害茶園緊鄰磁磚廠，且茶園周邊並無其他氟污染源。因此，磁磚廠排放之氟化物是導致本區域茶樹受害之原因。根據環保單位提供之監測資料，調查之磁磚廠周界大氣中氟化物濃度雖低於環保署訂定之標準值 (濃度低於 10 µg/m³)，卻仍然導致周邊茶樹受氟為害，且磁磚廠周邊之茶樹及草本、木本植物之葉片皆明顯有氟累積現象；目前環保單位訂定空氣污染物之標準值是以保護人畜健康為主要考量，但對於會經由農作物或植物等初級生產者累積後進入食物鏈之空氣污染物如：氟化物、有機污染物等，亦間接會對人畜造成危害，建議在生物體中具累積性之污染物應一併考量其對農作物或植物造成傷害之濃

表四 磁磚廠邊西南側 200 m 範圍內二種多年生木本植物葉部之氟累積量

Table 4. Fluoride accumulation in perennial plant leaves within 200 m distance from a ceramic factory

Sampling site	Fluoride content (mg/kg d.w.)	
	<i>Machilus thunbergii</i> Sieb. et Zucc.	<i>Litsea hypophaea</i> Hay.
30-50 m	2644 ± 265	- ¹
100-200 m	1903 ± 105	1184 ± 89
CK	26 ± 11	19 ± 7

¹ No sample was found within 50 m distance from a ceramics factory.



圖三 磁磚場西南側受害茶園周邊木本植物葉片出現乾枯捲曲之受害徵狀
a. 紅楠 b. 黃肉樹

Fig. 3. The marginal leaf necrosis and curved injury symptom of perennial plant in southwestern tea plantation of the ceramics factory.

a. *Machilus thunbergii* Sieb. et Zucc.

b. *Litsea hypophaea* Hay.

度及長期累積性之危害潛能，以訂定更具有保護整體生態環境意義之標準限值。

降雨可以沖洗葉片上之含氟顆粒和可溶性氟，降低葉片吸收氟之機會，因此，降雨量與葉片之含氟量成負相關性，但在高濕度的情況下，葉片表面形成露水，有利於葉片溶解和吸收氟化物^(3,10,27)。龍潭地區年雨量平均 2000 mm，65%的雨量集中於五月至九月份，污染事件發生及進行採樣期間為一月下旬至二月中旬，此段時期累積雨量低於 50 mm，降雨量低，降雨因素對植物體氟含量之影響較小。由於地形及氣候之影響，龍潭地區茶園每日清晨及黃昏皆有薄霧籠罩，一旦有氟污染源排放至大氣中，氟化物溶於霧滴並附著於葉片表面，經蒸發作用瞬間將氟濃縮於葉片中，此過程促使葉片氟含量遽增，當葉片累積之氟化物超過容忍臨界濃度時則出現受害徵狀，本調查中茶樹受害葉片中，仍具生理功能之綠色部位測得之氟含量最高者為 1978 mg/kg，而乾枯部位測得之最低值為 2024 mg/kg，推估茶樹葉片對氟之容忍臨界濃度約 2000 mg/kg。

結 論

調查結果顯示，磁磚廠西南側之茶園為嚴重受害區域，其次為磁磚廠西側之茶園，根據植體受害徵狀及多種植物氟含量分析結果，確定茶樹受磁磚廠排放之氟化物污染影響；磁磚

廠東北側茶園之茶樹，樹型完整，外觀正常，但葉片之平均氟累積量卻為對照組葉片之二倍，由於茶樹對氟之容忍臨界濃度高，儘管茶樹外觀正常，並不意味該區域茶樹未受到工廠氟污染影響。葉片為氟污染之主要累積部位，茶樹之葉片經加工處理後食用，因此，其食用安全上應予考慮。

本調查中之昭和草、咸豐草、藿香薊及野塘蒿等為台灣地區田間常見之菊科野草，結果顯示，這些菊科野草亦可累積高量氟化物而未出現受害徵狀，菊科野草之耐氟機制值得探討。昭和草、咸豐草、藿香薊及野塘蒿等野草具有耐氟及累積高量氟化物之特性，應適合作為本土性氟污染監測指標植物。

謝 辭

本研究承茶改場場長林木連博士提供對照組茶葉樣品，並提供茶樹栽培管理相關資料，謹此致謝。

參 考 文 獻

- (1) 李貽華、李國欽：空氣污染對農作物之影響 II、氟化物。科學農業，33: 68-71 (1985)。
- (2) 劉振宇、商啟：台灣磚瓦窯業產業污染及能源消耗量之研究。台灣銀行季刊，46: 304-337 (1995)。
- (3) 陳國階、余大富：環境中的氟，pp. 84-102。科學出版社，北京，中國 (1990)。
- (4) M. Treshow and K. A. Franklin : Fluoride: Origins and effects. In: *Plant Stress from Air Pollution*. pp. 61-76.

- John Wiley & Sons Ltd., New Jersey, USA (1991).
- (5) M. Treshow: Fluorides as air pollutants affecting plants. *Ann. Rev. Phytopathol.*, **9**: 21-44 (1971).
- (6) A. W. Davison: Uptake, transport and accumulation of soil and airborne fluorides by vegetation. In: *Fluorides - Effects on Vegetation, Animals and Humans*. pp. 61-82. Shupe, J. L., Peterson, H. B., and Leone, N. C. (eds.). Paragon Press, Salt Lake City, Utah, USA (1983).
- (7) 林茂盛、張瑞明、陳琳湖：空氣污染危害農作物徵狀診斷圖鑑，pp. 60-82。臺灣省農業試驗所，台中，台灣 (1994)。
- (8) E. J. Sun and H. J. Su : Fluoride content injury to rice plants caused by air pollution emitted from ceramic and brick factories. *Environ. Pollut. Ser. A*, **37**: 323-334 (1985).
- (9) E. Vike and A. Håbjørg : Variation in fluoride content and leaf injury on plants associated with three aluminum smelters in Norway. *Sci. Total Environ.*, **163**: 25-34 (1995).
- (10) 徐慈鴻、李貽華、蔣慕琰：磚窯廠周邊香蕉及檳榔氟化物累積及葉部傷害。中國農業化學會誌，**37**: 489-497 (1999)。
- (11) P. L. Altman and D. S. Dittmer: Susceptibility to air pollutants: Spermatophytes Part III. Fluoride. In: *Environmental Biology.*, pp. 312-313. Federation of Amen cans Societies for Experimental Biology Press, Maryland, USA (1966).
- (12) S. V. Krupa: Air quality and crops. In: *Air Pollution, People, and Plants. (An Introduction)*. pp. 95-116. APS (The American Phytopathological Society) Press, Minnesota, USA (1997).
- (13) G. P. Pandey: Effects of gaseous hydrogen fluoride on leaves of *Terminalia tomentosa* and *Buchanania lazan* trees. *Environ. Pollut. Ser. A.*, **37**: 323-334 (1985).
- (14) 盛澄淵：肥料學，pp. 260-269，國立編譯館，台北，台灣 (1988)。
- (15) 行政院農委會茶葉改良場。試驗研究與推廣，茶園水土保持。http://www.coa.gov.tw/external/teais/index.htm
- (16) 山田秀和、福部共生：植物中のアルミニウムとフッ素の關連性に関する研究 (第一報) 茶葉中のアルミニウムとフッ素の關係について。土肥誌，**48**: 253-261 (1977)。
- (17) 梁致遠：茶樹免除鉛的營養生理障礙的機制。台灣大學農業化學研究所博士論文，台北，台灣 (1995)。
- (18) 梁致遠、徐慈鴻、林鴻淇：茶樹木質部汁液中的鋁複合物之研究。中國農業化學會誌，**34**: 695-702 (1996)。
- (19) K. F. Fung, Z. Q. Zhang, J. W. C. Wong and M. H. Wong: Fluoride contents in tea and soil form tea plantations and the release of fluoride into tea liquor during infusion. *Environ. Pollut.*, **104**: 197-205 (1999).
- (20) 鄭福田、許整備、孫岩章、張良輝、張見聰、林文海：氟化物空氣污染鑑定技術之研究，pp. 45-47。國立臺灣大學環境工程研究所，台北，台灣 (1990)。
- (21) K. Morris: Tentative method of analysis fluoride content of the atmosphere and plant tissues. In: *Methods of Air Sampling and Analysis*, 7th ed. pp. 417-421. American Public Health Association Press, Washington DC, USA (1977).
- (22) C. Haidouti, A. Chronopoulou and J. Chronopoulos: Effects of fluoride emissions from industry on fluoride concentration of soils and vegetation. *Biochem. Sys. Ecol.*, **21**: 195-208 (1993).
- (23) S. R. Boese, D. C. MacLean and D. El-Mogazi: Effects of fluoride on chlorophyll a fluorescence in spinach. *Environ. Pollut.*, **89**: 203-208 (1995).
- (24) WHO: *Fluorine and Fluorides*, pp. 136. World Health Organization. Geneva, Switzerland (1984).
- (25) W. H. O. Ernst and P. J. Peterson: The role of biomarkers in environmental assessment (4). Terrestrial plants. *Ecotoxicology*, **3**: 180-192 (1994).
- (26) A. Klumpp, M. Domingos and G. Klumpp: Assessment of the vegetation risk by fluoride emissions from fertilizer industries at Cubatão, Brazil. *Sci. Total Environ.*, **192**: 219-228 (1996).
- (27) L. J. Van der Eerden: Fluoride content in grass as related to atmospheric fluoride concentrations: a simplified predictive model. *Agric. Ecos. Environ.*, **37**: 257-273 (1991).