

九種台灣常見雜草對臭氧耐受性之比較

徐慈鴻 李貽華 鄒采蘋 蔣慕琰

農委會 農業藥物毒物試驗所

摘 要

臭氧為一光化氧化物(Photochemical)，屬二次污染物，具蔓延性，不論都會區、工業區或鄉村皆可發現其存在。臭氧於 1950 年代即被確認為極具植物毒性之重要空氣污染物之一，對農藝、園藝作物、草本植物及木本植物等均具植物毒性。本研究利用開頂式燻氣室(Open top chamber, OTC)進行臭氧燻氣試驗，探討臭氧對台灣地區常見草類之慢性為害情形。測試植物包括：菊科之咸豐草、紫花霍香薊、昭和草；禾本科之牛筋草、馬唐草、紅毛草；莧科之野莧、青莧及大戟科之飛揚草等 9 種田野常見草類，分別以 60、80、120 及 200ppb 等濃度進行二週之燻氣試驗。在 60、80ppb 臭氧之燻氣下，測試草類無徵狀出現，而植株之株高、葉片數目及乾物重等生育特徵與對照組無差異，在 120ppb 臭氧濃度下，馬唐草、咸豐草及紫花霍香薊等出現受害徵狀，於 200ppb 臭氧燻氣下，除紅毛草及昭和草之外，其他草類皆出現受害徵狀。燻氣試驗結果顯示，馬唐草、咸豐草、紫花霍香薊屬較敏感者，牛筋草、青莧及野莧次之，對臭氧具耐受能力者為昭和草、紅毛草及飛揚草。供試植物之抗壞血酸(ascorbic acid)、植物葉片萃取液之 pH 值、葉綠素含量、相對水分含量及 Singh 等所提出之空氣污染容忍指數(APTI, air pollution tolerant index)與臭氧所導致葉片受害無明顯關係。

關鍵詞：臭氧、雜草、開頂式燻氣室、空氣污染容忍指數。

Comparative Responses of Nine Weeds to Ozone Fumigation

Tsyr-Horng Shyu Yi-Hwar Lee Tsai-Ping Tsou Mou-Yen Chiang

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

Abstract

Tropospheric ozone is a secondary pollutant widely exist around cities, industrial area and rural areas capable of causing plant injury and crop yield losses. In this study, we investigated the effects of ozone exposure on nine weeds common to lowland areas in Taiwan. Pot raised plants were fumigated seven hours (09:00-16:00) a day for two weeks with different level of O₃ (60-200 ppb) in open top chambers. Data on injured leaf-area, plant height, leaf number and biomass was collected. No detectable difference was observed for plants receiving 60 or 80 ppb fumigation. Leaf injury appeared on *Digitaria adscendens*, *Bidens pilosa* and *Ageratum houstonianun* after ozone treatment of 120 ppb. *Crassocephalum crepidioides* and *Rhynchelytrum repens* showed no symptoms at 200 ppb level. Overall data suggested that *Digitaria adscendens*, *Bidens pilosa* and *Ageratum houstonianun* were the most sensitive species, followed by *Eleusine indica*, *Amaranthus viridis* and spleen *Amaranthus patulus*. Most tolerant species were *Crassocephalum crepidioides*, *Rhynchelytrum repens* and *Chamaesyce hirta*. Ascorbic acid, leaf-extract pH, total chlorophyll and relative water content of tested species were determined on non-fumigated plants. These parameters and the calculated air pollution tolerance index (APTI) were not closely related with their responses to ozone exposure.

Key words : ozone, weed, open top chamber (OTC), air pollution tolerant index (APTI).

前 言

存在於平流層 (stratosphere) 中之臭氧分子能強烈吸收來自太陽之紫外線，減少紫外線對地球生物之傷害，而對流層 (troposphere) 中之臭氧為氮氧化物經光氧化作用後所衍生的二次污染物(secondary pollutants)⁽²³⁾；臭氧可由自然及人為污染之途徑產生^(10, 23)，人類活動所產生的氮氧化物及揮發性碳氫化合物(VOCs, volatile organic hydrocarbons)為目前全球各地臭氧濃度增高及所涉污染問題之主要原因，臭氧可隨氣流流動擴散，造成廣大區域之危害，不論都會區、工業區或鄉村皆可發現其存在；北半球空氣中之臭氧濃度每年仍以 1~2% 增加^(13, 15, 23, 25)。

臭氧對植物造成的急性徵狀為葉片表面出現浸水狀，繼而出現白色及黃褐色斑點，若葉片之斑點數很多，則葉片白化壞疽進而落葉；高濃度臭氧之為害，葉片之上、下表面皆可見到不規則白色或紅褐色斑塊，葉片捲曲變形，植物之受害徵狀主要出現於成熟葉，臭氧對農藝、園藝作物、草本植物、落葉及常綠木本植物等均具植物毒性^(2, 3, 4, 5, 13, 17, 23)。對於臭氧對植物影響的研究，從早期高濃度急性為害轉為低濃度慢性為害之相關研究為主，低劑量臭氧暴露之植物可能經長期才顯現病徵或無病徵顯現但卻使植物外觀、乾物質量、葉片組織形態、光合作用或相關生理作用受影響，使作物生長勢減弱導致產量降低^(8, 9, 12, 13, 25)。

為了評估臭氧對作物所造成的實際減產量及慢性危害等影響，Heagle(1979)⁽¹¹⁾等發展出開頂式燻氣室(Open-top chamber, 簡稱 OTC)進行長時間臭氧燻氣試驗，其主要是利用活性碳過濾空氣並與未過濾者及外加污染物者進行比較，以減少試驗時作物之生長條件與外界自然環境之差異，而降低其他環境因子對植物之影響^(11, 14)。Heagle 等人(1983)⁽¹²⁾利用開頂式燻氣室探討臭氧對花生產量之影響，每天七小時暴露於臭氧濃度 60ppb 下，花生減產 19.7%，Pleijel 等人(1991)⁽¹⁸⁾以開頂式燻氣室探討臭氧對春小麥(spring wheat)產量的影響，當臭氧濃度較大氣濃度分別增加 25 及 35ppb，小麥產量減少。

不同的植物種類、葉片組織形態及生長發育狀況、臭氧的濃度及臭氧的燻氣時間都會影響到植物對臭氧的反應。Meyer 等(2000)⁽¹⁶⁾研究低燻氣濃度下，暴露時間及總暴露量對春小麥光合作用及產量之影響，結果指出，在總暴露量相同時，短時間高濃度對植物的影響比長時間穩定低濃度之影響為大；Ferdinand (2000)⁽⁹⁾以 black cherry 之幼株進行燻氣試驗，葉片之形態(氣孔密度、柵狀組織厚度等)與植株對臭氧的敏感度有關；Singh 等人(1991)⁽²²⁾綜合植物葉片之抗壞血酸(ascorbic acid)、葉綠素含量(chlorophyll content)、萃液之 pH 值及相對水分含量(relative water content)等四項參數，推算植物之

空氣污染容忍指數(Air Pollution Tolerance Index, APTI)，並針對 Varanasi 城市周邊區域之 69 種現地植物(包括落葉、常綠樹木、灌木及草本植物)進行上述四項參數之分析及計算 APTI，評估各種植物對空氣污染物之耐受能力，結果認為對空氣污染較敏感之植物，其 APTI 值較低。

本研究利用開頂式燻氣室進行不同濃度臭氧燻氣試驗，探討臭氧對田野常見雜草之為害情形(包括徵狀產生、乾物重之變化等)，並利用空氣容忍指數(APTI)評估這些草類對臭氧之耐受性及利用田間草類作為指標植物應用之可行性。

材料與方法

開頂式燻氣室(Open-top chamber, OTC)

開頂式燻氣室直徑 3m，高 2.4m，質材為 PVC 塑膠布；頂蓬直徑 3m，頂端呈 45° 縮小直徑至 2m，採用高透明 8 mm 強化玻璃連接(圖一)。燻氣室上層高 1.2 M，下層分內、外二層，內層 PVC 布有孔徑 2.5 cm 之出風孔 41 排，每排 6 個，如此設計使開頂式燻氣室污染物之濃度均勻；鼓風機(2HP)內置過濾網及活性碳以過濾空氣其他污染物，出風口風量可達 80 m³/min，依測試濃度調整風量稀釋污染源。利用臭氧產生機產生臭氧後由鼓風機出風口處將臭氧注入燻氣室內，臭氧燻氣濃度平均為 60、80、120ppb 及 200ppb 等，(臺灣地區空氣品質標準，臭氧之小時平均值 120ppb)。

二座燻氣室進行臭氧處理，對照組燻氣室則以活性碳過濾空氣後直接注入燻氣室內，燻氣時段為上午 9 點至下午 4 點共 7 小時，連續燻氣二週，每週 5 天，並以臭氧分析儀分析燻氣室內之臭氧濃度。

供試植物栽培

選擇田野常見草本覆蓋植物包括：菊科之咸豐草(*Bidens pilosa* L.)、紫花霍香薊(*Ageratum houstonianum* Mill.)、昭和草(*Crassocephalum crepidioides* (Benth.)S. Moore)、禾本科之牛筋草(*Eleusine indica* (L.) Gaertn.)、馬唐草(*Digitaria adscendens* (H.K.B.) Henr.)、紅毛草(*Rhynchelytrum repens* (Willd.) C.E. Hubbard)、莧科之野莧(*Amaranthus viridis* L.)、青莧(*Amaranthus patulus* Bertoloni)及大戟科之飛揚草(*Chamaesyce hirta* (L.) Millsp.)等為試驗材料。測試草類採自非污染區之種子栽培，在溫室先行催芽、育苗，待苗生長至 3~5 公分左右，移植至 18 公分之白色塑膠盆中，於溫室內繼續栽培，約三-四週後移入燻氣室，適應 2 天後進行臭氧燻氣試驗。



圖一、開頂式燻氣室(直徑 3m，高 2.4m)。

Fig1. Open-top chamber (diamter-3m, height-2.4m)

徵狀及植物特性調查

供試草類於臭氧燻氣後第 2 天及 14 天記錄葉片受害的程度，14 天後記錄株高、葉片數目及乾物重變化。

測試植物生理生化指標測定

未經臭氧燻氣處理之供試植物，於幼苗移植後三-四週，摘取成熟之新葉進行各項生理及生化指標測定如下：

抗壞血酸 (ascorbic acid)⁽¹⁹⁾：新鮮葉片 0.5 克，液態氮研磨植體後加入 5ml 5 % meta-phosphoric acid 進行萃取，萃取液於轉速 2,000g 下(離心機 BOECO C-28 型)離心 5 分鐘後取上清液。取 1ml 的反應液中含 0.1ml 50mM EDTA、0.2ml 1.7% TCA、0.2ml 7.6% *o*-phosphoric acid、0.1ml 44mM dipyridyl、0.2ml 16mM FeCl₃ 及 0.1ml 上清液，40°C 水浴 40 分鐘，利用分光光度計(BACKMAN DU-68 型)於波長 525nm 測量吸光值，並作抗壞血酸之標準曲線換算含量。

葉片酸鹼值 (pH)⁽²²⁾：新鮮葉片 2 克加入 20ml 二次去離子水均質磨碎後，以 pH 測定計(WTW pH537 型)分析均質液之 pH 值。

葉綠素含量 (total chlorophyll)⁽⁶⁾：新鮮葉片 0.1 克，液態氮研磨植體後加入 20ml 80% acetone，於轉速 3,000g 下(離心機 Sigma 2-15 型)離心 10 分鐘後取上清液，利用分光光度計於波長 652nm 下測量吸光值並換算葉綠素含量。

相對水分含量 (relate water content)^(7,21)：採集葉片並紀錄鮮重(FW, fresh weight)後，將葉片浸泡於去離子水中 24 小時後取出，吸乾葉面之多餘水分後

紀錄濕重(TW, turgid weight)，將葉片置於烘箱，於80°C烘乾48小時後紀錄乾重(DW, dry weight)，利用鮮重(FW)、濕重(TW)及乾重(DW)計算葉片之相對水分含量 ($R = \frac{FW-DW}{TW-DW} \times 100$)。

空氣污染容忍指數(APTI)之計算⁽²²⁾

利用各植物葉片之抗壞血酸含量(A)、葉片酸鹼值(P)、葉綠素含量(T)及相對水分含量(R)依如下公式計算空氣容忍指數(APTI)。

$$APTI = \frac{A(T+P) + R}{10}$$

結果與討論

植株生育影響

九種供試草類於60ppb (50~74ppb)、80ppb (70~96ppb)臭氣濃度下進行燻氣試驗，其外觀徵狀、株高、葉片數目及乾重等生長特性與對照組並無差異；於120ppb(108~130ppb)及200ppb(178~210ppb)臭氣燻氣後，比較燻氣前、後處理組及對照組草類之株高、葉數及乾重所增加之比率，結果顯示(表一)，處理組之咸豐草、牛筋草、馬唐草、紅毛草、野萵及青萵等草類株高之增加比率較對照組低，而紫花藿香薊及昭和草則較高，葉片數目之增減變化情形與株高類似，但是所有測試草類乾物重之增加比率皆較對照組低。

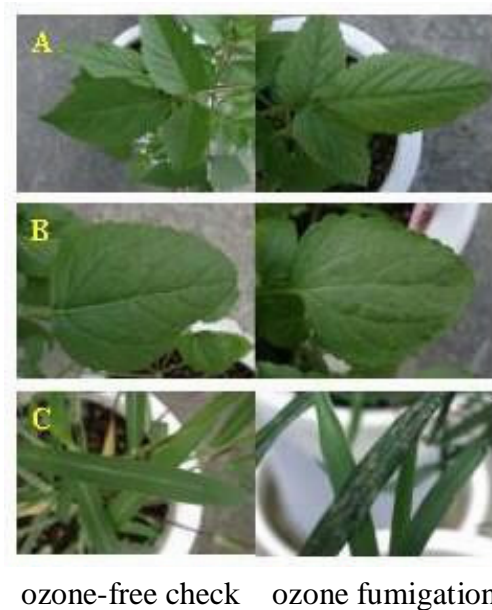
受害徵狀及受害面積

九種供試植物於80ppb以下燻氣至第14天皆無明顯受害徵狀產生。而供試草類以120ppb進行燻氣2天後(圖二)，咸豐草、紫花藿香薊及馬唐草等三種草類出現輕微受害徵狀，咸豐草葉尖及葉脈間出現白化徵狀。臭氣處理之紫花藿香薊葉脈間出現細小白斑點，並有提早落葉及老化現象；馬唐草經臭氣燻氣後，葉脈間及葉緣出現微小細線狀白斑。此三種植物受害徵狀範圍約10~31%(圖三)。燻氣14天後，咸豐草、紫花藿香薊葉面之平均受害面積提高至20%以上，而馬唐草燻氣後隨燻氣處理時間加長，其白化現象往葉基部擴延，並逐漸枯乾。其餘5種草類在燻氣過程中無異常徵狀顯現。當濃度提高為200ppb時，咸豐草、紫花藿香薊、牛筋草、馬唐草、青萵及野萵等草類於燻氣第2天後出現受害徵狀，與對照組相較，臭氣處理明顯造成青萵及野萵葉片黃化，並有提早老化及落葉現象；牛筋草、馬唐草葉片受害情形嚴重，受害面積分別為32.7%、56.6%，但14天後調查，受害面積比例降低為17.3%、30.7%。咸豐草及紫花藿香薊葉片受害徵狀則加重，由燻氣2天後之15.7%及

表一、燻氣前、後草類之株高、葉片數及乾物重和對照組相較下之變化
 Table 1. Responses of nine weeds to ozone fumigation. Changes on parameters of ozone treated plants were compared to that of non-treated plants for the 14 days period of fumigation. Signs “+”, “-“ and “n” indicate increase, decrease and no-change, respectively

Plant species 植物種類	Plant height 株高		Leaf number 葉片數目		Dry weight 乾物重	
	120 ppb	200 ppb	120 ppb	200 ppb	120 ppb	200 ppb
Compositae 菊科						
咸豐草 <i>Bidens pilosa</i>	-	n	+	n	-	-
紫花霍香薊 <i>Ageratum houstonianun</i>	+	+	+	+	-	-
昭和草 <i>Crassocephalum crepidioides</i>	+	+	+	+	n	-
Gramineae 禾本科						
牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	n	-	n	n	-	-
馬唐草 <i>Digitaria adscendens</i>	-	-	-	n	-	-
紅毛草 <i>Rhynchelytrum repens</i>	-	n	n	n	n	-
Amaranthaceae 莧科						
野莧 <i>Amaranthus viridis</i>	-	+	n	+	-	-
青莧 <i>Amaranthus patulus</i>	-	+	-	+	-	-
Euphorbiaceae 大戟科						
飛揚草 <i>Chamaesyce hirta</i>	-	+	+	-	-	-

“+、-“ 表示處理組草類之株高、葉片數目及乾物重增加比率較對照組增加比率高或低，”n“表示處理組和對照組無差異。



圖二、臭氧濃度 120ppb 燻氣二天後(每天燻氣 7 小時, 09:00-16:00), (A)咸豐草、(B)紫花藿香薊及(C)馬唐草之葉片出現受害徵狀。

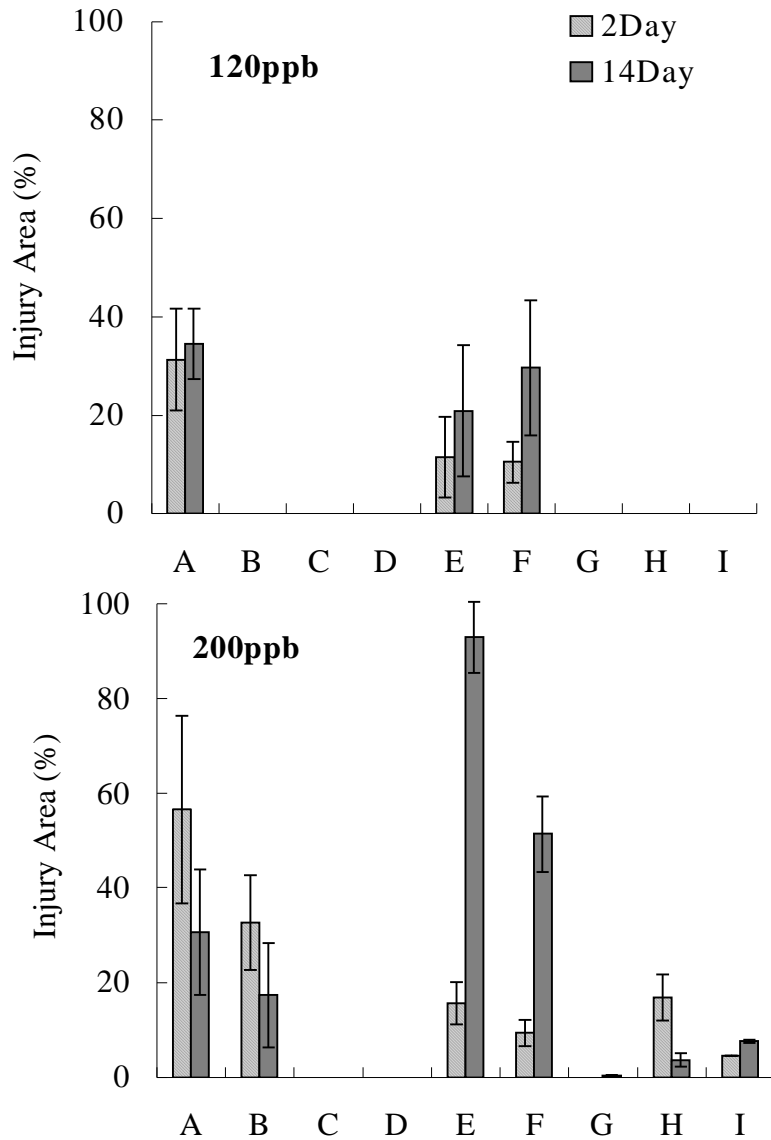
Fig.2. Ozone induced symptoms on *Bidens pilosa* (A), *Ageratum houstonianun* (B), and *Digitaria adscenden*(C). Fumigation was conducted in open-top chambers for 2 days (09:00-16:00, each day) with mean concentration of 120 ppb.

9.4%，分別提高為92.9%及51.4%；野萵和青萵同樣有受害徵狀比例降低之情形，兩者受害徵狀皆屬於輕微；昭和草、紅毛草及大飛揚草等三種草類並無異常徵狀出現。

我國大氣中之臭氧濃度以南部地區之冬季時節偏高，環保署資料顯示每日小時臭氧濃度之最高值平均約96ppb⁽¹⁾，於此濃度下本試驗之9種草類皆不會出現受害徵狀；當臭氧濃度升高至120ppb時，咸豐草、紫花藿香薊及馬唐草會出現徵狀，屬於相對敏感植物，而昭和草及紅毛草為對臭氧具高耐受性者。

供試草類的空氣容忍指數

植物對抗逆境能力與其形態及生理特性有關，如葉片厚度、葉被纖毛、抗氧化酵素活性及抗氧化物含量等，這些特性常被用來當作評估植物是否具有抗性的參數；植物之葉片越厚、絨毛越密、植物體內所含之抗壞血酸濃度越高等，皆表示植物對逆境之忍受性越強，其他如氣孔導度及膜的通透性亦



圖三、不同濃度臭氧燻氣下草類葉片受害面積比。

Fig.3. Leaves injury of weeds under 120 ppb (A) and 200 ppb (B) after 2 and 14 days ozone fumigation. Plants were placed in open top chamber and 7-hrs fumigation (9:00-16:00) was applied each day. Plant species tested were *Digitaria adscenden* 馬唐草(A), *Eleusine indica* 牛筋草(B), *Rhynchelytrum repen* 紅毛草(C), *Crassocephalum crepidioides* 昭和草(D), *Bidens pilosa* 咸豐草(E), *Ageratum houstonianun* 紫花藿香薊(F), *Chamaesyce hirt* 飛揚草(G), *Amaranthus viridis* 野萵(H), *Amaranthus patulus* 青萵(I)。

可作為評估之指標^(9,22)。空氣污染容忍指數(APTI)是綜合四項不同生理特性參數之計算而得，以比較植物對逆境抗性之能力，四項參數包含抗壞血酸(ascorbic acid)、酸鹼值(leaf-extract pH)、葉綠素含量(total chlorophyll)及相對水分含量(relative water content, RWC)等，這些參數在生理上代表不同意義⁽²²⁾。

草類之四項生理特性參數經分析後結果見表二。抗壞血酸具抗氧化作用，可還原 O_2^- 、 H_2O_2 及OH⁻等活化氧化物，防止活性氧破壞細胞膜及類囊體膜，發揮保護光合作用系統的功用。在臭氧煙氣的情況下，抗壞血酸的含量與對抗臭氧的耐受性呈相關，Zheng等(2000)⁽¹³⁾噴灑抗壞血酸於葉片能減少臭氧造成二氧化碳同化效率下降之影響。九種常見草類中，以荳科草類所含抗壞血酸含量最高，青荳可達10.2mg/g d.w.，其次為飛揚草、牛筋及紅毛草，抗壞血酸含量較低者包括三種菊科草類及馬唐草等。

對酸性空氣污染物如二氧化硫，葉片酸鹼值高之植物較葉片酸鹼值低者對污染物更具耐受性⁽²²⁾。測試草類中除飛揚草葉片萃取液之pH值明顯低於5.5之外，禾本科及菊科草類葉片萃取液之pH值5.9-6.2，而荳科為6.4-6.8。

植物體原有的葉綠素含量較高，在遭受逆境而降解的過程中，仍具有相對多量的葉綠素，能保持較高的光合作用，因此具有較高的抗性⁽²²⁾；不同草種中，以馬唐草之葉綠素含量最高(34.7mg/g d.w.)，綠荳含量最低(19.7mg/g d.w.)。

相對水分含量與原生質液之通透有關，污染物常引起細胞膜通透性增加，導致水分及養分流失，使葉片提早老化，因此高水分含量可增加抗性⁽²²⁾；分析顯示飛揚草、紅毛草及馬唐草之相對水分含量較高約達98%，其餘草類之相對水分含量則介於91-93%。

表二中草類之APTI值以昭和草最低為12，青荳最高為36，依Singh等(1991)⁽²²⁾之歸類，草本植物之APTI值 ≤ 10 者歸為敏感型(sensitive)，11~14屬中間型(intermediate)，15~18為具耐受型(moderately tolerant)，18以上屬於耐受型(tolerant)；野荳、綠荳、飛揚草、紫花藿香劑、牛筋草及紅毛草等草類皆歸為耐受型，而咸豐草、昭和草及馬唐草等則歸為中間型，然而本研究臭氧煙氣試驗的結果顯示，紫花藿香劑與咸豐草、馬唐草等皆為較易出現受害徵狀者；相反的，昭和草之APTI值最低，但對高濃度之臭氧卻極具耐受性。

APTI值之計算方式雖綜合數項可能與抗污染有關之逆境因子，其作為一般性指標之通用性仍未得廣泛之證實；目前之研究顯示此指標並不適用於反應草本植物對臭氧之反應。植物之抗壞血酸含量、葉綠素含量及相對水分含量等會因為植物其他的生理作用、外在的生長及生態環境因素的影響而改變並進而影響APTI值的變化^(20, 22)。

表二、測試草類之抗壞血酸含量、葉片萃取液pH值、葉綠素含量、相對水分含量及空氣污染容忍指數(APTI)。

Table 2. Ascorbic acid, leaf -extract pH total chlorophyll, relative water content and air pollution tolerance index (APTI) of weeds

Plant species 植物種類	A*	P	T	R	APTI**
野莧 <i>Amaranthus viridis</i>	7.6	6.8	23.1	88.7	32
青莧 <i>Amaranthus patulus</i>	10.2	6.4	19.7	92.0	36
飛揚草 <i>Chamaesyce hirta</i>	5.4	5.4	21.1	98.0	24
紫花藿香薊 <i>Ageratum houstonianun</i>	2.6	6.1	30.8	92.7	19
昭和草 <i>Crassocep halumcrepidioides</i>	1.0	6.2	23.8	92.3	12
咸豐草 <i>Bidens pilosa</i>	1.6	6.1	27.2	91.0	14
牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	6.6	6.0	22.2	93.0	28
紅毛草 <i>Rhynchelytrum repen</i>	4.0	5.9	27.1	102.0	23
馬唐草 <i>Digitaria adscendens</i>	1.0	5.9	34.7	98.0	14

* A: ascorbic acid (mg/g dry weight), P: Leaf extract pH, T: total chlorophyll (mg/g dry weight), R: percent relative water content (RWC). Each value is measured three replicates.

** APTI based on Singh's formula⁽²²⁾, $APTI = \frac{A(T+P)+R}{10}$.

計算植物之APTI時，葉片之抗壞血酸及葉綠素含量宜換算為植體乾重下的含量，若以鮮重下的含量進行計算，則多數植物之APTI值並不會有明顯差異，當上述供試草類之抗壞血酸及葉綠素含量以鮮重計算時，則九種供試草類之APTI範圍為9-11，皆變成敏感型或中間型之植物；Wood(1995)⁽²⁴⁾等利用APTI評估八種室內觀葉植物對空氣污染的耐受性時，即以鮮重計算葉片之抗

壞血酸及葉綠素含量，求出供試植物之 APTI 值範圍為 9-12。因此，計算 APTI 時要注意四項測值的計量單位，避免所求出之 APTI 值範圍過於狹窄而無法進行比較。

引用文獻

1. 行政院環境保護署環境資訊系統。http://edb.epa.gov.tw/
2. 李國欽、李貽華。1983。空氣污染危害植物之診斷，p.VII-1-5。臺灣植物保護中心，台中。
3. 李貽華、李國欽。1985。空氣污染對農作物之影響 III、光化氧化物(O₃、PAN、NO_x)及氯化氫。科學農業 33(1-2): 72-76。
4. 林茂盛、張瑞明、陳琳湖。1994。空氣污染危害農作物徵狀診斷圖鑑，p.60-82。臺灣省農業試驗所，台中。
5. 孫岩章。1993。台灣北部地區臭氧對葉用甘藷及菠菜之影響。大氣品質與農業經營之關係研討會論文集，p.111-126。中華生質能源學會，台北。
6. Arnon, D. I. .1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. *Plant Physiol.* 24: 1-15.
7. Barrs, H. D. and P. E. Weatherley. 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Aust. J. Biol. Sci.* 15: 413-428.
8. Cooley, D. R. and W. J. Manning. 1987. The impact of ozone on assimilate partitioning in plants: a review. *Environ. Pollut.* 47: 95-113.
9. Ferdinand, J. A., T. S. Fredericksen, K. B. Kouterick and J. M. Skelly. 2000. Leaf morphology and ozone sensitivity of two open pollinated genotypes of black cherry (*Prunus serotina*) seedlings. *Environ. Pollut.* 108: 297-302.
10. Fowler, D. *et. al.* 1997 Ozone in the United Kingdom. pp.247. United Kingdom Photochemical Oxidants Review Group, London. UK.
11. Heagle, A. S., R. B. Philbeck, H. H. Rogers, and M. B. Letchworth. 1979. Dispensing and monitoring ozone in open-top field chambers for plant-effects studies. *Phytopathology* 69: 15-20.
12. Heagle, A. S., M. B. Letchworth and C. A. Mitchell. 1983. Injury and yield responses of peanuts to chronic doses of ozone in open-top field chambers. *Phytopathology* 73: 551-555.
13. Heck W. W., A. S. Heagles and D.S. Shriner 1986. Effects on vegetation: native, crops, forests, pp. 248-333. *In* A. C. Stern, eds. Air pollution Vol. 6., 3th. Academic Press, NY, USA.483pp.

14. Hogsett, W. E., D. M. Olszyk, D. P. Ormrod, G. E. Taylor and D. T. Tingey. 1987. Air Pollution Exposure System and Experimental Protocols. Volume 2: Description of Facilities. US Environmental Protection Agency, Environmental Research Laboratory, Washington, D.C. EPA/600/3-87/037b. pp.a-1~m-16.
15. Hough A. M. and R. G. Derwent 1990. Changes in the global concentration of tropospheric ozone due to human activities. *Nature* 344: 645-648.
16. Meyer, U., B. Köllner, J. Willenbrink and G. H. M. Krause. 2000. Effects of different ozone exposure regimes on photosynthesis, assimilates and thousand grain weight in spring wheat. *Agric.Eco.EnvIRON.* 78: 49-55.
17. Pell, E. J. and W. C. Weissberger. 1976. Histopathological characterization of ozone injury to soybean foliage. *Phytopathology* 66: 856-861.
18. Pleijel, H., L. Skärby., G. Wallin., and G. Selldén. 1991. Yield and grain quality of spring wheat (*Triticum aestivum* L., cv. Drabant) exposed to different concentrations of ozone in open-top chambers. *Environment. Pollut.* 69: 151-168.
19. Ranieri, A., A. Castagna, E. Padu, H. Moldau, M. Rahi, and G. F. Soldatini. 1999. The decay of O₃ through direct reaction with cell wall ascorbate is not sufficient to explain the different degrees of O₃-sensitivity in poplar clones. *J. Plant Physiol.* 154: 250-255.
20. Raza, S. H. and M.S.R. Murthy. 1988. Air pollution tolerance index of certain plants of Nacharam industrial area, Hyderabad. *Indian J. Bot.* 11:91-95.
21. Riga, P. and N. Vartanian. 1999. Sequential express of adaptive mechanisms is responsible for drought resistance in tobacco. *Aust. J. Plant Physiol.* 26: 211-220.
22. Singh, S.K., D.N. Rao, M. Agrawal., J. Pandey. And D. Narayan. 1991. Air Pollution Tolerance Index of Plant. *J. Environ.Manag.* 32: 45-55.
23. Treshow, M. and K. A. Franklin. 1991 Ozone as an air pollutant. In : *Plant Stress from Air pollution* . pp.61-76. John Wiley & Sons Ltd.
24. Wood, R. A. and M. D. Burchett. 1995. Developing interior foliage plants for the important of air quality. *Acta Horticulturae* 391: 119-125.
25. Zheng, Y., T. Lyons, J. H. Ollerenshaw and J. D. Barnes. 2000. Ascorbate in the leaf apoplast is a factor mediating ozone resistance in *Plantago major*. *Plant Physiol. Biochem.* 38(5): 403-411.