

植物產生空氣負離子之機制初探

朱 恬 儀¹⁾ 吳 振 發²⁾

關鍵字：室內植物、室內空氣品質

摘要：目前國內外關於空氣負離子的研究多進行不同環境中空氣負離子之時空間變化監測，或者其濃度與環境、植物群落、氣象因子之相關性，開發產生負離子之相關產品，以及其對人體健康效益之研究，鮮少針對單株植物產生空氣負離子的研究。鑑此，本研究以文獻回顧法來探究植物產生空氣負離子的機制，並進行先驅實驗，測量室內植物空氣負離子產生量，最為後續應用室內植物配置營造健康環境之參考。

前 言

1980年美國太空總署(NASA)研究發現室內植物可以淨化空氣。後續由美國景觀協會的植物清淨空氣協會 (Plants for Clean Air Council)與渥文特環境服務 (Wolverton Environmental Services)共同研究推動植物改善空氣品質的觀念，證實植物是維持密閉建物空氣清淨的重要元素 (Wolverton, 2007；郭丙華，2010)。空氣中負離子含量與其清潔度密切相關，更成為評價空氣清潔度的指標 (李繼育，2008b)。世界衛生組織規定清新空氣的空氣負離子標準濃度為 1000~1500 個/cm³ (Kukec *et al.*, 2014; Lazzerini *et al.*, 2018)。植物是產生空氣負離子的主要來源，空氣負離子能吸附、聚集和沉降空氣中的懸浮顆粒、污染物質 (楊等，2009)。在富含空氣負離子的空氣中，直徑 1 μm 以下的微塵、細菌、病毒等幾乎為零，且空氣負離子對有毒氣體有降解、裂解的作用 (林等，2006)。空氣負離子能中和空氣中的空氣中的細菌、灰塵、煙霧等帶正電的微粒，是淨化空氣，特別是解決 PM_{2.5} 危害的有效物質。陸地上空氣負離子的平均濃度為 650 個/cm³，但分布不均勻，尤其在工業區、辦公室等室內，其濃度更趨近於 0 (錢等，2016)。透過種植和擺設植物可產生對人體有益空氣負離子並降低空氣中污染物質 (郭丙華，2010；林等，2012；趙潔，2015)。

1) 國立中興大學園藝系博士班研究生。

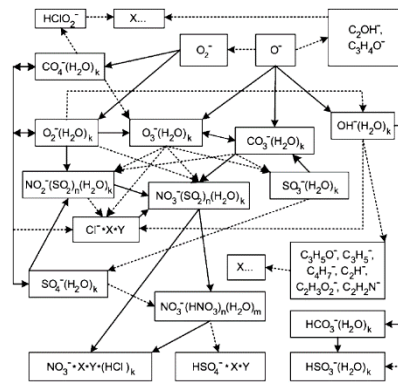
2) 國立中興大學園藝系教授，通訊作者。

文獻回顧

一、空氣負離子

(一) 空氣負離子的概述

空氣是由 N_2 、 O_2 、 CO_2 等多種氣體組成。正常狀態下，氣體分子及原子的正負電荷呈中性。經宇宙射線、太陽光照、電磁波、岩石和土壤產生的射線、植物的尖端放電和光合作用光電效應、海浪、瀑布及各種氣象活動等能量作用下，氣體分子中某些原子的外層電子離開軌道，成為呈負電極性的自由電子 (e^-)，電子的原子呈正電極性，此過程稱“空氣電離”。負電極性的自由電子與空氣中其他中性分子 (如 H_2O 、 O_2 、 N_2 、 CO_2 、 SO_2 等) 結合，使得到多餘電子的中性分子呈負電極性，即成為“空氣負離子”亦稱“負離子”(Negative Air Ions; NAIs)，或負氧離子 (Negative Oxygen Ions; NOIs) (Krueger, 1962; 林等, 2006; 王等, 2013; 朱等, 2018)，此過程稱空氣離子化 (林玉雯, 2014)。各氣體元素的電子親和力不同， N_2 電子親和力遠低於 O_2 、 CO_2 ；而 O_2 為大氣中最豐富的元素；因此自由電子 e^- 多被 O_2 獲取，形成空氣負離子 (李等, 2017)。



資料來源：Lin and Lin, 2017

圖 1. 空氣負離子產生流程。

Fig. 1. The basic scheme of the negative air ions transformation processes.

空氣負離子包括小離子 (直徑 $0.001\sim 0.003\mu m$)、中離子 (直徑 $0.003\sim 0.030\mu m$)、大離子 (直徑 $0.03\sim 0.10\mu m$)。空氣負離子指的是小離子，具最大的生物活性，以 1 立方公分空氣中含有空氣離子個數表示濃度，單位為“個/ cm^3 ”。大氣中正離子濃度略高於負離子，約為 1.15 : 1.00 (吳振發, 2009; 范琪林, 2015)。而空氣負離子存在的時間與空氣清潔程度呈正相關，存在時間為數秒~數千秒 (單晟燁, 2016; Ling, 2019)。

國際大地測量學與地球物理學聯合會 (International Union of Geodesy and Geophysics; IUGG) 指出空氣負離子分子式為負氧離子 $O_2^- (H_2O)_n$ 、氫氧根負離子 $OH^- (H_2O)_n$ 、 $CO_4^- (H_2O)_2$ (Lin, and Lin, 2017; Jiang, *et al.*, 2018)。

(二) 空氣負離子的產生方式

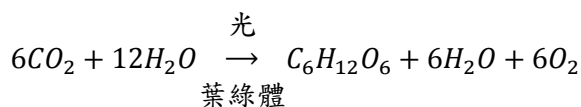
空氣負離子產生的方式分有人為、自然兩種。人為產生方式為外線照射法、熱離子發射法、放射性物質輻射法、電荷分離法、電暈放電法、高壓水噴射作用等方式。自然產生負離子的方式為物枝葉的尖端放電、光合作用形成光電效應使空氣電離，產生空氣負離子 (林，2006；林，2010)。

二、植物產生空氣負離子

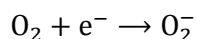
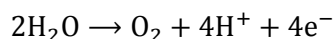
(一) 植物產生空氣負離子的概述

植物透過光合作用產生空氣負離子 (林等，2006；潘，2006)，Z 型光反應系統是植物光合作用光反應的重要部分 (陳等，2016)。

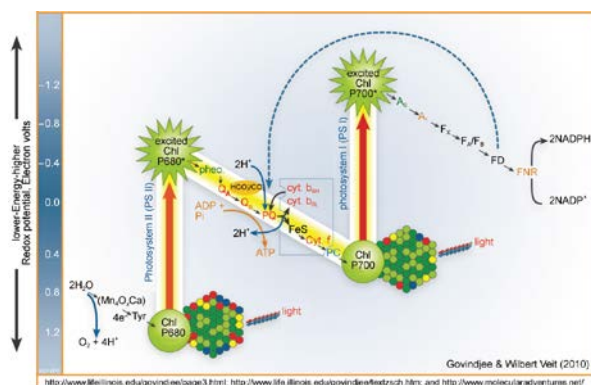
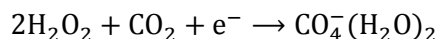
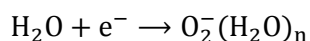
1. 光合作用：包含光反應 (Light Reaction) 與暗反應 (Dark Reaction)，其關鍵是葉綠體。葉綠體在光的作用下，將由氣孔進入的 CO_2 和由根部吸收的 H_2O 轉成葡萄糖，釋放 O_2 。



光反應需光，涉及 H_2O 的光解及光合磷酸化，產生 O_2 且經氣孔釋放； O_2 再與產生的電子 e^- 合成空氣負離子。另外，暗反應不需要光，涉及 CO_2 的固定。



另，釋出的 e^- 與 CO_2 、 H_2O 反應，產生空氣負離子。



圖片來源：陳博才等, 2016

圖 2. 植物光合作用過程中電子的 Z 型傳遞機理。

Fig. 2. Z-scheme of electron transport mechanism in plant photosynthesis progress

2. 植物尖端放電：

生態環境中，植物於光合作用過程吸收空氣中正離子，於葉片尖端放電產生負離子。植物的尖端放電是地面上空氣負離子主要來源（蒙等，2005；楊等，2009）。植物的莖、皮、葉等器官或組織分化成曲率較小的針狀結構，發生“尖端放電”作用，誘導產生負離子；另外，植物分泌的萜烯類和芳香類物質會促使空氣電離產生負離子（林等，2006）。

(二) 植物淨化空氣

1980 年美國太空總署 (NASA) 於南密西西比的約翰史丹尼斯太空中心 (John C. Stennis Space Center) 研究發現室內植物可以淨化封閉的實驗艙內的空氣。於 1989 年再指出植物對甲醛、苯、三氯乙烯的排除能力效果顯著。後續由美國景觀工程會成立植物清淨空氣協會 (Plants for Clean Air Council) 及沃文特環境服務公司 (Wolverton Environmental Services) 共同研究。於 NASA 創建的實際居住空間中進行實驗，結果表明室內空氣淨化植物是維持健康的室內環境不可缺少的植物。針對揮發性化學物質的去除能力、濕度調節能力、病毒去除能力、室內環境適應能力等四項指標的綜合評價結果，篩選、公布 50 種空氣淨化植物 (Wolverton, 2007；劉等，2013；劉等，2015)。

室內空氣淨化植物 (Eco-friendly Houseplants) 是指在室內易生長、適應，且易淨化空氣中各種污染物的植物。植物透過氣孔吸收 CO_2 ，產生 O_2 和 H_2O ；同時吸收空氣中的污染物。同時，產生的空氣負離子能去除或中和室內建築材料、地毯、黏著劑等化學物質散發出的各種氣味、吸附灰塵、抑制病毒及黴菌等（郭丙華，2010）。

對植物而言，室外、室內的生長環境條件差異相當大，並非所有植物都適合於室內生長。適於室內栽培、應用的植物，稱為室內植物 (House Plants 或 Indoor Plants)；觀葉植物 (Foliage Plants) 多源自陽光不足、高溫多濕的熱帶雨林，具耐蔭特性，能適應室內光線不足的條件，因此室內植物的種類常是以觀葉植物為主（李，1989）。

(三) 植物產生空氣負離子的研究趨勢

本研究於臺灣藝藝線上圖書館、臺灣博碩士論文網及大陸的中國知識資源總庫（包含中國期刊全文數據庫、中國博士學位論文全文數據庫、中國優秀碩士學位論文全文數據庫）等電子資料庫，以空氣負離子為關鍵字查詢，發現相關研究的期刊、論文等文獻資料總數懸殊差距極大。

目前，對植物產生空氣負離子的研究，集中在戶外環境中的植物群落或度假區。研究該地區空氣負離子的時空間變化監測或研究該地區空氣負離子濃度與氣象因子的關係（付等，2013；彭等，2013；李等，2016；張等，2016；毛等，2017）。對單株植物產生空氣負離子的研究甚少，在植物產生空氣負離子的研究可分為：自然狀態下及人為控制或刺激時兩種類型。

在自然狀態下，研究不同時間（日、月、季節、年）、空間環境（室內、戶外、城市、森林、水體...）、氣象因素（溫度、濕度、陰晴）、植物類型（群落、結構、數量、鬱閉度...）與空氣負離子濃度的變化關係（張帥，2010；吳等，2011a；吳等，2011b；丁等，2015；

張等，2015)。

在人為控制或電刺激方面，主要探討改變光照、溫度、電刺激植物等不同變數施以植物時，植物產生空氣負離子濃度的變化，以及受外在刺激後植物生長或生理作用的影響程度關係 (Tikhonov *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2009；吳，2017a；吳，2017b；吳，2017c)。

表 1. 臺灣和大陸有關空氣負離子的文獻統計。

Table 1. Kinds of Literature about Air Negative Ions in Taiwan and China.

電子資料庫 E- Resources	期刊 Journal	博碩論文 thesis	總數 Total
臺灣華藝線上圖書館	79	23	102
臺灣博碩士論文網	博士論文 5、碩士論文 63		68
中國知識資源總庫	1028	192	1220

資料來源：本研究整理，查詢時間 107 年 12 月 19 日

(四) 測量植物產生空氣負離子的實驗

以往認為單株植物在自然狀態下所產生的空氣負離子量少且難以測量，故鮮少對單株植物產生空氣負離子量的探討 (吳等，2011a；吳等，2011b；張等，2015)。本研究於有限的文獻中整理發現，目前在自然狀態下，對單株植物產生空氣負離子的研究可分為日間 12 小時與全日 24 小時進行監測，兩種類型。

1. 日間進行的實驗：

比較李繼育 (2008a)、丁旭玲等 (2015)、張萬超等 (2015)三篇，於日間連續 12 小時測量植物產生空氣負離子的試驗方法得知；植物產生空氣負離子的濃度與株齡、環境光照、風速、溫度、濕度等因素有關 (Tikhonov *et al.*, 2004)。因此為避免不同生長勢的影響，多選擇株齡與外型相近的植株為試驗材料並設置三重複。選於晴朗、乾爽、無風的天氣，在室內環境的密閉玻璃箱中進行試驗。同時記錄光照、溫度、相對濕度。在監測數據讀取的時間上雖不盡相同，但多將植物正對儀器、保持在同一位置或重複測量四次、每次將植株旋轉 90°來讀取數據，所測得之數據處理以 EXCEL、SPSS 軟體來分析。

2. 全日進行的實驗：

比較吳仁燁等 (2011a、2011b、2015)三篇，於全日連續 24 小時測量植物產生空氣負離子的試驗方法，並與日間進行實驗的三篇文獻相比得知：對照組除無植物無栽培土的空盆外 (吳等，2011a；吳等，2011b)，另吳仁燁等 (2015)改以無植物的栽培土 (吳等，2015)為空白對照。同樣為避免各植株其不同生長勢的影響，選擇株齡、外型相近的植株並設置三重複為試驗材料。試驗選在晴天，於室內的密閉玻璃箱中進行。監測時間分別 150 秒、100 秒。以 EXCEL、SPSS 軟體進行分析。

3. 本研究彙整植物產生空氣負離子的文獻結果：

- i. 自然狀態下，多數植物在產生空氣負離子數量的表現為日間時段高於夜間時段，說明光照對植物產生空氣負離子極具影響 (Tikhonov *et al.*, 2004；李，2008a；吳等，2015)；植物在日間或夜間產生的空氣負離子數量，除少數植物變化幅度較大外，大部分植物於全天的空氣負離子數量表現都較為平穩 (吳等，2011a；吳等，2011b)。
- ii. 植物能產生空氣負離子；但單株植物產生空氣負離子的量與促進人體健康所需的濃度相差甚遠 (辛等，2014；鄧等，2014)。
- iii. 植物產生空氣負離子的能力與植株年齡相關，且受溫度、濕度、光照等環境條件影響 (Tikhonov *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2009)。
- iv. 實驗設計大多只測量每立方公分空氣中的空氣離子個數，少數採用高壓電刺激植物的研究 (李等，2008a)，才有採用安培空氣質量係數計算。同時選於環境因素干擾較少的室內或密閉玻璃箱進行測量，選擇有相似株型、生長勢的植物並設置三重複為試驗材料，選用更新穎、精確度更高的空氣離子測量儀器 (吳等，2011a；吳等，2011b；張等，2016)。

材料與方法

一、試驗目的

為測量植物空氣負離子產量的研究試驗作前測，以避免正式試驗時的錯誤，同時應用此前測之結果加以修正試驗設計的流程。

二、材料選擇

由於本研究之參考文獻多源於大陸，為了解兩岸對植物名稱是否不同。將前人研究結果 (吳等，2011a；吳等，2011b)與 50 種常見淨化室內空氣植物 (葉德銘，2010)做彙整比對。得知尚有 30 種常見淨化室內空氣植物未測量過空氣負離子產生量。將 30 種未測量過的室內植物，依預計進行的試驗日期進行分組。

三、試驗材料

選擇 6 吋盆大岩桐：株齡三個月，設置 A、B、C，三個重複；選擇 6 吋盆非洲菊，株齡四個月，設置 A、B、C，三個重複。受測植物均於同一花市採買，株齡、蓬型、高度、穴盆大小等參數相似。

四、試驗時間與地點

試驗日期訂於 2017 年 03 月 13 日，日間 07:00~19:00，連續 12 小時進行測量植物產生空氣負離子的試驗。天氣晴朗少雲。試驗地點為中興大學作物科學大樓 8 樓。

五、試驗設備

(一) 玻璃箱：採用厚度 8 mm 玻璃，製成規格為 80 cm×80 cm×80 cm 的密封玻璃箱，其中一側面截取 108 mm×114 mm 的窗口，該窗口與 COM-3600F 空氣離子測量儀的測量進風口面大小相吻合，未測量時用玻璃擋板封閉窗口。

(二) 日本 COM-3600F 高機能空氣正負離子測定器：可測量空氣正、負離子。每秒可測量 1 個數據。同時能測量溫度及相對濕度並連接、記錄於電腦。

(三) 台灣 LUTRON 路昌 LM-8000 多功能環境表：測量光照度 $\pm 5\%$ 。

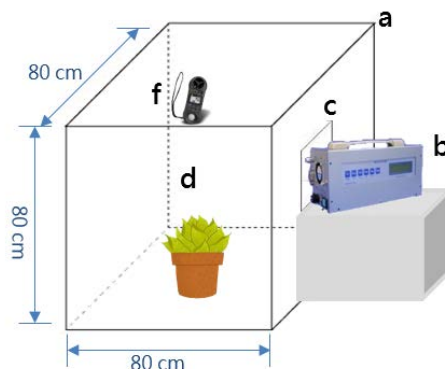


圖 3. 測量植物產生空氣負離子量之試驗設置示意圖。a.密閉玻璃箱 b.空氣離子測量儀 c.測量開口 d.受測植物 e.墊高物 f.光度計。

Fig. 3. Schematic Diagram of the Experimental Setup for Measuring the Amount of Air Negative Ions Produced by Plants. a. Airtight glass box, b. NAI detector, c. Sampling holed, d. Testing Houseplant, e. Stand, f. Photometer.

六、試驗方法與資料處理

於 07:00~19:00 間，每小時測量一次，連續測量 12 小時。植株固定在同一位置。測量時，植物正對測量儀器。每株植物每小時測量一次，連續讀取 300 秒，得 300 個有效資料。每小時測量順序為大岩桐 A、B、C；非洲菊 A、B、C。每小時每種植物共得 900 個資料，以平均值為該株植物該時段的空氣負離子數值。每次測量結束後，玻璃箱皆充分通風，同時記錄溫度、相對溼度、光照度，以 Excel 2016 計算各參數平均值並繪製趨勢圖。

結果與討論

由日間連續 12 小時測量玻璃箱內大岩桐與非洲菊的空氣負離子數量與紀錄溫度、相對濕度、光照度，以每小時之平均值分析並繪製趨勢圖：

一、空氣負離子數

大岩桐於 10:00、15:00、18:00 等時段達到峰值，分別為 551 個/cm³、554 個/cm³、558 個/cm³；於 07:00、11:00 產生空氣負離子量較低，分別是 312 個/cm³、447 個/cm³。非洲菊於 10:00、15:00、18:00 等時段達到峰值分別為 536 個/cm³、546 個/cm³、584 個/cm³；於 07:00、11:00 等時段產生空氣負離子量較低，分別是 389 個/cm³、456 個/cm³，詳見圖 4。

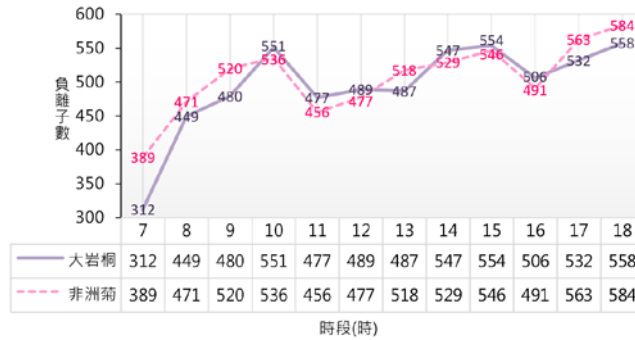


圖 4. 大岩桐、非洲菊之產生空氣負離子數趨勢圖。

Fig. 4. The Trend of Air Negative Ions Concentration by Gloxinia and Gerbera.

二、相對濕度與溫度

(一) 大岩桐 (見圖 5)

1. 相對濕度：最高於 07:00-10:00 等時段：86%。最低於 11:00-16:00 等時段：69%。平均值：75%。差距 (最大-最小)：17 %。
2. 溫度：最高於 17:00 時段：29.0°C。最低於 07:00-10:00 等時段：25.9°C。平均值：27.8°C。差距 (最大-最小)：3.1°C。

(二) 非洲菊 (見圖 6)

1. 相對濕度：最高於 07:00-10:00 等時段：86%。最低於 11:00-16:00 等時段：69%。平均值：75%。差距 (最大-最小)：17 %。
2. 溫度：最高於 17:00 時段：29.4 °C。最低於 07:00-09:00 等時段：25.9 °C。平均值：28.1°C。差距(最大-最小)：3.5°C。

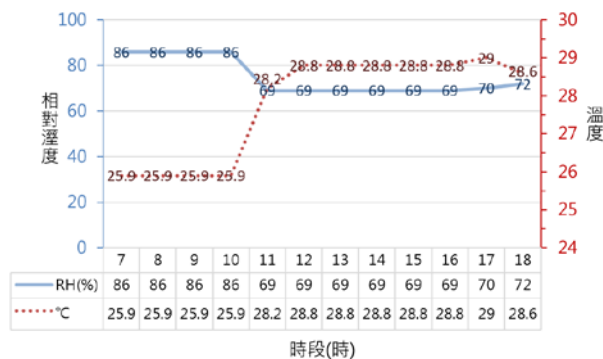


圖 5. 大岩桐—相對溼度與溫度趨勢圖。

Fig. 5. The trend of Relative Humidity and Temperature by Gloxinia.

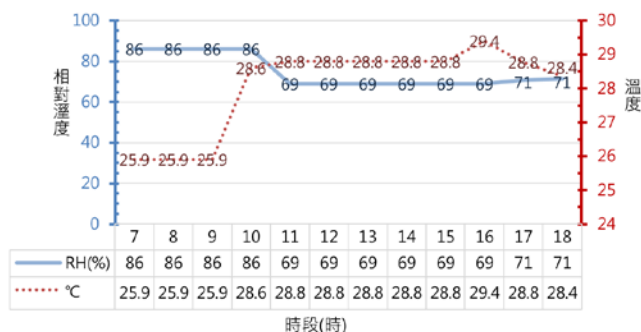


圖 6. 非洲菊—相對溼度與溫度趨勢圖。

Fig. 6. The trend of Relative Humidity and Temperature by Gerbera.

三、空氣負離子數與光照度

(一) 大岩桐 (見圖 7)

1. 空氣負離子數：最高於 18:00 時段：558 個/cm³。最低於 07:00 時段：312 個/cm³。平均值：495 個/cm³。差距 (最大-最小)：246 個/cm³。
2. 光照度：最高於 11:00 時段：2092 lux。最低於 18:00 時段：2 lux。差距 (最大-最小)：2090 lux。

(二) 非洲菊 (見圖 8)

1. 空氣負離子數：最高於 18:00 時段：584 個/cm³。最低於 07:00 時段：389 個/cm³。平均值：507 個/cm³。差距 (最大-最小)：195 個/cm³。
2. 光照度：最高於 11:00 時段：2020 lux。最低於 18:00 時段：0 lux。差距 (最大-最小)：2020 lux。

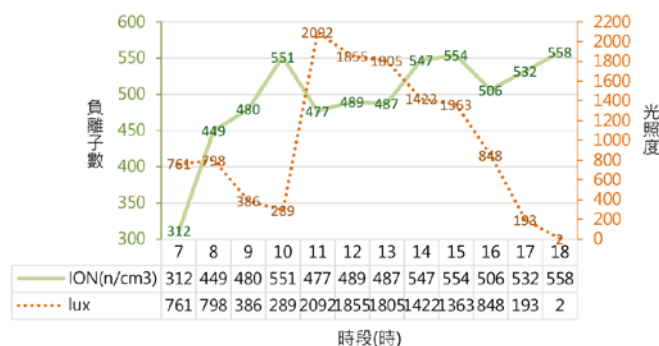


圖 7. 大岩桐—空氣負離子數與光照度趨勢圖。

Fig. 7. The trend of Air Negative Ion Concentration and Illuminance by Gloxinia.

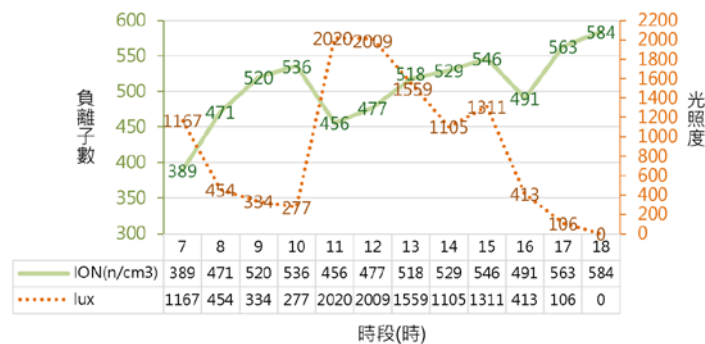


圖 8. 非洲菊—空氣負離子數與光照度趨勢圖

Fig. 8. The trend of Air Negative Ion Concentration and Illuminance by Gerbera.

(三) 全日趨勢 (見圖 7、圖 8)

1. 07:00 光照度較低，隨著時間到 11:00、12:00 光照度達最大;之後逐漸下降至 0。
2. 07:00~11:00 玻璃箱內所測得之空氣負離子數量呈現緩升，推測因光照度逐漸上升帶動植物光合作用速率提升;故，所測得的空氣負離子數逐漸增加。
3. 11:00-12:00 光照度達最高值，玻璃箱內所測得之空氣負離子數量呈現下降。推測此時光照度過高，植物光合作用速率趨緩。於 13:00 後光照度下降至植物光合作用適當範圍，故玻璃箱內所測得空氣負離子數量又逐漸升高。

四、空氣負離子數與溫度

玻璃箱內大岩桐 (見圖 9)、非洲菊 (見圖 10)測得空氣負離子與溫度趨勢：

- (一) 07:00 溫度最低，隨著時間緩升到 16:00~17:00 時段溫度達最高，之後逐漸下降。
- (二) 07:00~11:00 玻璃箱內測得空氣負離子個數及溫度呈現緩升。推測因溫度逐漸上升帶動光合作用速率提升;故，所測得空氣負離子數量逐漸增加。
- (三) 11:00-12:00 測得溫度逐漸升高、空氣負離子數呈現相對下降。推測除光照度過高且溫度也提高，雙重影響光合作用速率有關。13:00~15:00 溫度維持在 28.8℃，但所測得空氣負離子數量呈現緩增，推測此時溫度雖維持，但光照度逐漸降低至光合作用適宜範圍，故玻璃箱內所測得空氣負離子數量又逐漸升高。
- (四) 16:00~17:00 測得溫度達最高，空氣負離子數呈現先降後升。推測是溫度過高，影響光合作用暗反應的酶活性所致，故光合作用速率降低，空氣負離子數量呈現相對下降。
- (五) 18:00 溫度逐漸下降而光照度趨近於 0，所測得空氣負離子呈現緩升;推測是溫度下降至適宜範圍，植物使用剩餘的儲備能量來進行光合作用，此時為植物的滯後效應，故讓植物持續產生空氣負離子。此現象與前人研究結果一致 (Wang *et al.*, 2009)。

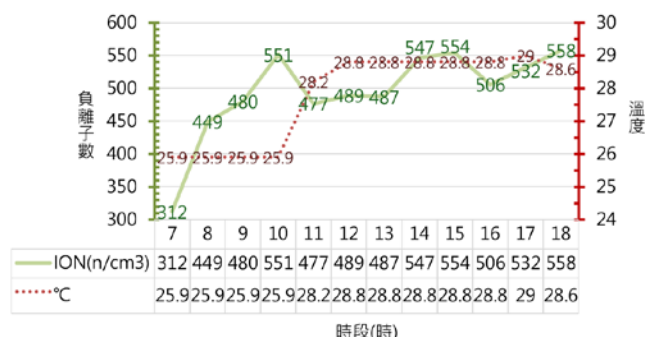


圖 9. 大岩桐—空氣負離子數與溫度趨勢圖。

Fig. 9. The Trend of Air Negative Ion Concentration and Temperature by Gloxinia.

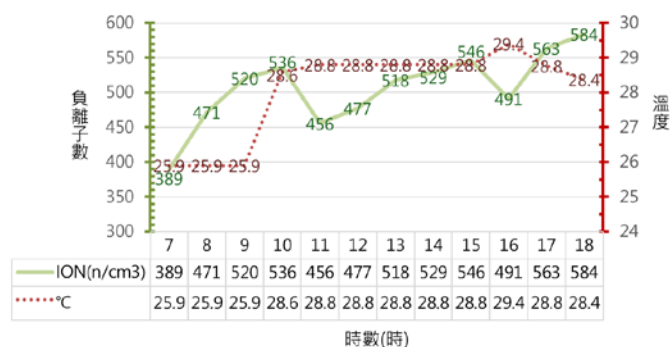


圖 10. 非洲菊—空氣負離子數與溫度趨勢圖。

Fig. 10. The Trend of Air Negative Ion Concentration and Temperature by Gerbera.

五、空氣負離子數與相對溼度

玻璃箱內大岩桐（見圖 11）、非洲菊（見圖 12）測得空氣負離子與相對濕度趨勢：

- (一) 07:00~10:00 相對濕度 86%。11:00~16:00 相對濕度 69%。17:00~18:00 相對濕度約 70%。
- (二) 07:00-10:00 因溫度、光照度逐漸上升帶動光合作用;所測得空氣負離子數呈現緩增。而 O₂ 與 H₂O 為光合作用產物，故相對濕度較高。
- (三) 11:00-12:00 測得空氣負離子數呈現趨緩;相對濕度下降至 69%。推測 11:00-12:00 光照度高、溫度高、加上 07:00-10:00 光合作用持續而相對濕度高;三者同時影響光合作用速率，故所測得空氣負離子數呈現下降。
- (四) 16:00 相對濕度上升至 71%;所測得空氣負離子數呈現緩升。推測此時除溫度、光照度下降至適宜範圍，讓植物光合作用提升，故玻璃箱內所測得空氣負離子數量又逐漸升高。

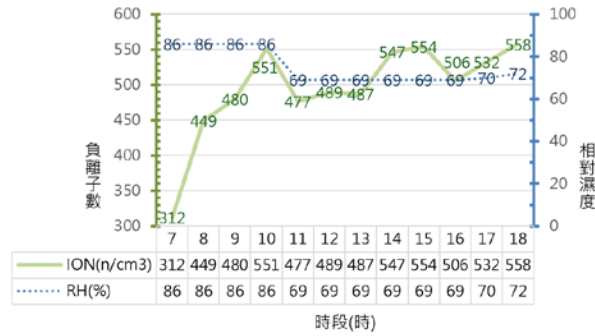


圖 11. 大岩桐—空氣負離子數與相對濕度趨勢圖。

Fig. 11. The Trend of Air Negative Ion Concentration and Relative Humidity by Gloxinia.

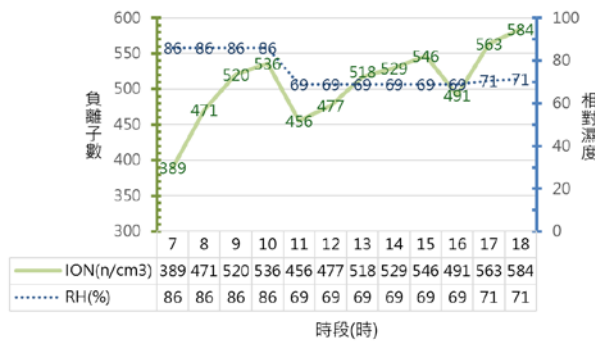


圖 12. 非洲菊—空氣負離子數與相對濕度趨勢圖

Fig. 12. The Trend of Air Negative Ion Concentration and Relative Humidity by Gerbera.

後續研究

由日間連續 12 小時監測玻璃箱內大岩桐、非洲菊所測得空氣負離子數與環境因素得知：玻璃箱內溫度與相對濕度呈現負相關，可從植物光合作用的機制來分析，大岩桐、非洲菊所產生的空氣負離子趨勢受光照度影響 (Tikhonov *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2009)。另，林金明等 (2006)指出植物透過光合作用、尖端放電方式來產生空氣負離子;光合作用的 O₂ 產量與光合速率、葉面積、生長老化、環境因素有關;光合作用是光化學反應，日照量越大、光合作用速率越快;但光照增加到一定程度後，光合作用速度不再增加。光合作用的暗反應屬於酶促反應，隨著溫度升高，酶促反應加快，光合成加快;但溫度過高時會影響酶的活性，光合速度降低。因此，本研究推測植物產生空氣負離子的數量除受光照度、風速、溫度、相對濕度等環境因素影響外，也與植物種類、光合作用速率、光補償點、光飽和點、植物體內水分含量等相關。建議後續可針對植物光合作用速率影響因素進行研究分析。本研究為測量室內植物空氣負離子產生量的先驅實驗，並應用本研究結果提出後續試驗流程

之修正建議。本研究於測量當天發現中興大學作物科學大樓 8 樓陽台易受風速干擾;偶發儀器測量之空氣負離子最小值低於起測背景值的狀況,建議未來實驗地點應選擇背景環境穩定且變動小的地點。且由於人力與試驗設備之限制,本研究來不及進行對照組測量,故本研究只分析每小時空氣負離子數、溫度、濕度、光照的變化趨勢,無法計算每小時空氣負離子產生量的平均值。建議後續試驗時,除需選於室內避免風速干擾、設置適於室內植物生長所需之溫度、相對濕度、光照度的實驗環境外,同時建議需增加人力以監測、比較各植物於相同環境下所產生的空氣負離子數量。另,各植物有其不同生長季節,故試驗日期也需依植物種類特性,隨時做時程上的調整。

參 考 文 獻

- 丁旭玲、張萬超、黃龍飛、鄭金貴、吳仁燁、鄧傳遠。2015。常態下仙人掌科植物負離子釋放量與其刺尖數量的相關性研究。安徽農業大學學報 42(2): 263-267。
- 毛成忠、張明、劉艷玉、冷鵬飛、汪軍、陳星、楊戈。2017。空氣負氧離子濃度與主要氣象因子擬合試驗。綠色科技(19): 202-205。
- 比爾沃文特 B.C.Wolverton。2007。居家空氣大淨化:50種能製造新鮮空氣的室內植物 HOW TO GROW FRESH AIR。蘋果屋出版社。155pp。
- 王薇、余莊。2013。中國城市環境中空氣負離子研究進展。生態環境學報 22(4): 05-711。
- 潘瑞熾(2006)。植物生理學。藝軒圖書出版社。379pp。
- 付聖東、黃彥青、陳瑋、孫曉梅、王振廷。2013。植物群落負離子濃度及空氣質量調查分析。中國園藝文摘(6)55、63。
- 朱怡諾、崔麗娟、李偉。2018。濕地環境中負(氧)離子研究概述。山東林業科技(3): 96-99,108。
- 李少寧、劉斌、石媛、魯紹偉。2016。天津典型綠化樹種提供空氣負離子研究。北方園藝(12): 188-193。
- 李晔。1989。室內植物。淑馨出版社。119pp。
- 辛桂亮、孟偉、夏青、黃龍飛、鄭金貴。2014。影響沿階草釋放負離子的3種因素分析。黑龍江八一農墾大學學報 26(2): 1-7。
- 李繼育、薛印泉、李印穎、任釗、小林昭雄。2008a。高壓刺激對幾種盆栽植物產生空氣負離子的影響。西北林學院學報 23(4): 38-41。
- 李繼育。2008。植物對空氣負離子濃度影響的研究。西北農林科技大學林學系碩士論文。48pp。
- 李琳、杜倩、劉鐵男、梁素鈺。2017。空氣負離子研究進展。現代化農業 12, 30-31。
- 林玉雯。2014。以生態設計觀點探討台大校園植栽配置。國立臺灣大學生物資源暨農學院園藝暨景觀學系碩士論文。125pp。
- 林金明、宋冠群、趙利霞。2006。環境、健康與負氧離子。化學工業出版社。

- 林溫風。2010。住宅庭園空氣離子時空間變遷之探討。國立中興大學園藝學系碩士論文。83pp。
- 林韻芬、莊海華。2012。室內空氣與健康：漫談病態建築物症候群。家庭醫學與基層醫療，27(5): 161-165。
- 吳仁燁、鄧傳遠、王彬、黃德冰、林麗、黃建民、鄭金貴。2011a。具備釋放負離子功能室內植物的種質資源研究。中國農學通報 27(8): 91-97。
- 吳仁燁、黃德冰、郭梨錦、林麗、黃建民、鄧傳遠。2011b。具備釋放負離子功能室內植物的種質資源研究II。常態下室內植物負離子的釋放。亞熱帶農業研究 7(1): 1-6。
- 吳仁燁、鄧傳遠、楊志堅、翁海勇、朱帖俊容、鄭金貴。2015。脈衝電場作用對植物釋放負離子的影響。應用生態學報 26(2): 419-424。
- 吳仁燁、鄭金貴、翁海勇、張萬超、鄧傳遠、葉大鵬、王晴水、孫緣芬。2017a。脈衝電場刺激對植物釋放負離子的影響及其機理。生態學雜誌 36(5): 1224-1233。
- 吳仁燁、孫緣芬、鄭金貴、鄧傳遠、葉大鵬、王晴水。2017b。脈衝電場作用對植物釋放負離子與氣孔特徵的關係。植物學報 52(6): 744-755。
- 吳仁燁、鄭金貴、楊志堅。2017c。環境氣象因素對植物釋放負離子能力的影響。福建農業科技(9): 6-11。
- 吳振發、林溫風。2009。台灣及大陸空氣負離子研究趨勢分析與展望。戶外遊憩研究 22(3): 57-81。
- 范琪林。2015。負氧離子及其應用分析。技術與市場 22(11): 160。
- 陳博才、沈洋、魏建紅、熊銳、石兢。2015。基於 g-C₃N₄ 的 Z 型光催化體系研究進展。物理化學學報 32(6): 1371-182。
- 郭丙華。2010。超有效室內空氣淨化植物。和平國際文化有限公司。215pp。
- 張兵、儲雙雙、張立超、張朝明、宋相金、孔德敏、肖夢蕊、曾曙才。2016。廣東車八嶺國家級自然保護區空氣負離子水平及其主要影響因子。廣西植物 36(5): 523-528。
- 張帥。2010。植物與空氣離子關係的研究。南京農林大學碩士論文。49pp。
- 張萬超、鄭金貴、黃龍飛、時順鋒、吳仁燁、鄧傳遠。2015。常態下仙人掌科植物負離子釋放量的比較及其與刺數量的關係。福建農林大學學報 44(4): 402-407。
- 單晟燁。2016。水體空氣負離子分布及其生態價值估算。哈爾濱師範大學碩士論文。
- 彭輝武、鄭鬆發、劉玉玲、胡明嬌、朱宏偉。2013。珠海淇澳島紅樹林群落空氣負離子濃度特徵研究。北京林業大學學報 35(5): 64-67。
- 楊運經、習崗、張社奇。2009。脈衝電場介導的植物空氣負離子發射的倍增效應及其意義。大學物理 28(12): 39-42。
- 葉德銘。2010。淨化室內空氣之植物應用及管理手冊：居家生活版。行政院環境保護署。191pp。
- 蒙晉佳、張燕。2005。地面上的空氣負離子主要來源於植物的尖端放電。環境科學與技術

- 1: 112-113。
- 鄧傳遠、鄭金貴、王艷英、吳仁燁、黃巧玲。2014。脈沖電場刺激對部分仙人掌科植物釋放負離子的影響。福建農林大學學報 43(6): 622-627。
- 趙潔。2015。室內植物對苯污染的耐脅迫能力及吸收淨化效果研究。山東建築大學碩士論文。61pp。
- 錢芳、潘魁曉、奚冠東。2016。面向健康城市的負離子生活圈構建初探。建築與文化 146: 192-19。
- 劉夢雲、張莉莉、熊勉、章麗茜、張春曉。2013。室內觀葉植物淨化空氣的研究進展。化學工程師 10: 38-39。
- 劉鳳、高澤、劉松奇、金仁傑、劉長明、汪閱。2015。室內植物淨化空氣的研究進展。安徽農業科學 43(10): 254-255, 289。
- Krueger, A. P. 1962. Air ions and physiological function. *J. Gen. Physiol.* 45: 233-241.
- Kukec, A. and Dovjak, M. 2014. Prevention and control of sick building syndrome (SBS). Part 1: identification of risk factors. *Int. J. Sanit. Eng.* 8(1): 16-40.
- Lazzerini, F. T., Orlando, M. T., and De Prá, W. 2018. Progress of negative air ions in health tourism environments applications. *Bol. Soc. Esp. Hidrol. Méd.* 33: 27-46.
- Lin, H. F. and J. M. Lin. 2017. Generation and determination of negative air ions. *J. Anal. Test.* 1: 6.
- Ling, D. 2019. Review on research of the negative air ion concentration distribution and its correlation with meteorological elements in mountain tourist area. *Earth.* 8(1): 60-68.
- Tikhonov, V. P., V. D. Tsvetkov, E. G. Litvinova, T. V. Sirota and M. N. Kondrashova. 2004. Generation of negative air ions by plants upon pulsed electrical stimulation applied to soil. *J. Plant Physiol.* 51(3): 414-419.
- Wang, J. and S. H. Li. 2009. Changes in negative air ions concentration under different light intensities and development of a model to relate light intensity to directional change. *J. Environ. Manage.* 90(8): 2746-2754.

The Mechanism of Negative Air Ions Produced by Plants

Tien-Yi Chu¹⁾ Chen-Fa Wu²⁾

Keyword : House Plants, Indoor air quality

Summary

Negative air ions (NAIs) research mostly focus on some topics, such as monitoring temporal and spatial changes of number of NAIs with various environment, the relationship among NAIs with climate, plants and environment factors, develop NAIs production products, and benefits of NAIs with human health. The topic of mechanism of air negative ions produced by plants is important issue but rare publication focus on it. This work review literature to explore the mechanism of plants producing air negative ions. Then, a pioneer experiment was test to manure plants production NAIs. This work will be useful for future work with plants producing air negative ions.

1) Student in Ph.D. Program, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

2) Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University. Corresponding Author.