

容易被輕忽的作物殺手～鋁毒害的認識及預防

文 / 圖 林永鴻*

前言

全台耕地總面積中有 65 ~ 75% 為酸性土壤，其中屬強酸性者 ($\text{pH} < 5.5$) 佔 28%，為最大面積的問題土壤，土壤酸化後對作物會造成營養吸收上的問題，進而影響生產品質與產量，因此強酸性土壤的改良是相當重要的。土壤若過度酸化 ($\text{pH} < 5.5$)，除了磷的有效性降低及鹼性離子 (鈣、鎂及鉀等) 與微量元素 (如銅、鋅、硼和鋁等) 易流失外，由於鐵、鋁和錳過量的溶出，導致對作物造成毒害，其中以鋁的毒害最為嚴重。

土壤中的鋁

鋁在地殼中的含量僅次於氧及矽，是含量最豐富的金屬元素。土壤中礦物經風化作用會將鋁釋放出成為鋁離子，

鋁離子經由水解會產生大量氫離子而使土壤變酸。強酸性土壤在低鋁濃度情況下，對植物根系的伸長有所助益，乃因低濃度的鋁佔據根細胞壁上的負電荷使根部不受高濃度氫離子的危害；然而當鋁濃度漸次提高時，鋁因水解作用釋放出大量的氫離子，使得作物根系受到傷害，而且高濃度的單體鋁 (Al^{+3}) 會使根細胞壁上的 ATP 酶活性降低，造成作物對營養要素的吸收能量不足，使作物生育不良，尤其是對作物幼齡期之危害最為嚴重。以砂質壤土而言，當土壤 pH 為 4.5 時，其土壤溶液中鋁的濃度約為 110 ~ 120 μM ，而黏質土壤中 ($\text{pH} 4.5$) 鋁的濃度高達 150 μM ，此時對作物根部的生長尚不致造成影響，但當土壤更趨酸化的情況下，自土壤溶出鋁的濃度逐漸提高，



▲圖 1. 強酸性土壤 ($\text{pH} 4.7$) 種植甘藍因鋁毒害造成營養吸收不良而使植株生長及產量均不佳 (左一、二)。經施用 1.5 公噸 / 公頃石灰石粉改良土壤酸鹼度後 ($\text{pH} 6.0$) 可使植株生長良好並提高產量 (右一、二)。

有時高達 $250 \mu\text{M}$ 以上，此時高鋁濃度便可能對作物的根部造成毒害。

鋁對作物的毒害

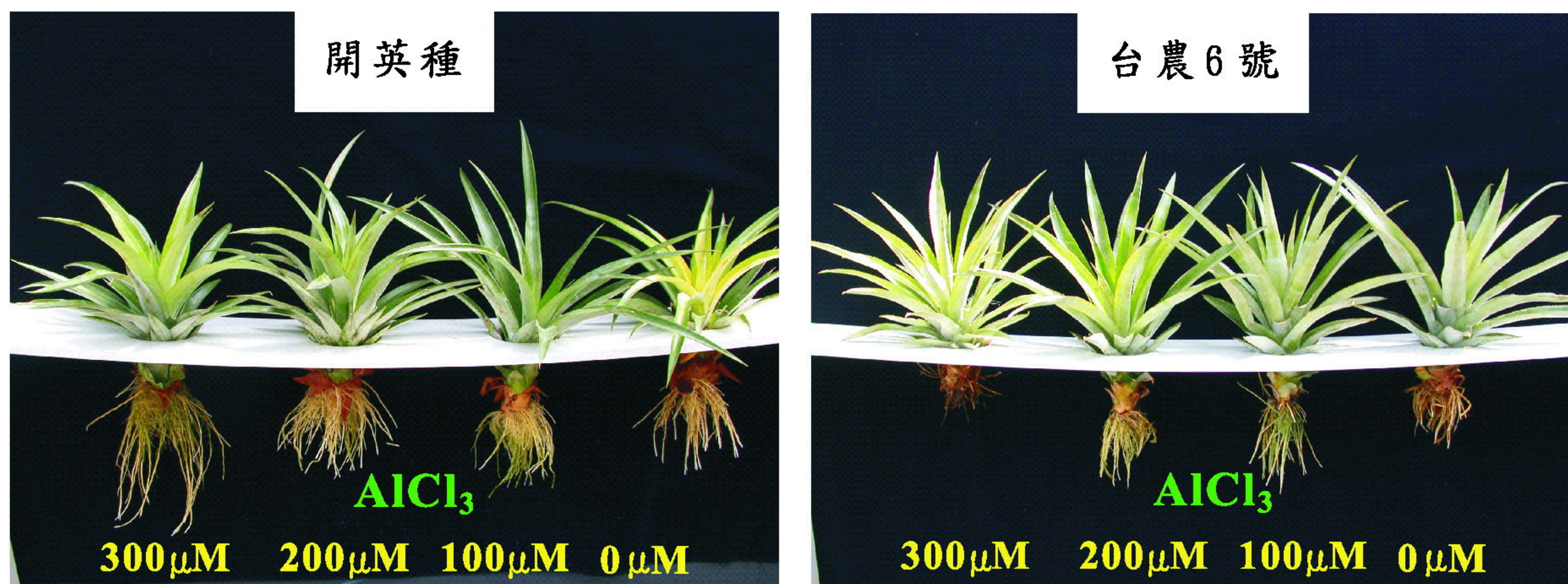
作物受到鋁毒害時，根系短而粗，並發生扭曲，側根短少，整個根系有時呈珊瑚狀，外面有一層褐色外膜，植株矮小，作物對許多養分的吸收及利用受阻。然而每種作物對鋁的耐受性並不同，蔬菜種植在土壤溶液中鋁濃度達 $100 \mu\text{M}$ 時即會遭受毒害，以甘藍為例，當種植於強酸性土壤 ($\text{pH}4.7$)，營養吸收不良，經酸度改良後 ($\text{pH}6.0$) 植株生長及產量均有所提昇(圖 1)；鳳梨雖適合種植在酸性土壤 ($\text{pH}4.5 \sim 6.0$)，但有些品種(如台農 6 號、台農 13 號等)，在低濃度鋁的情況下生育良好，而當毒性鋁濃度高達 $250 \mu\text{M}$ 時根部生長開始受到抑制(圖 2)，至於茶樹等耐酸植物，高濃度鋁情況下仍不致遭受毒害，因為其根部會分泌一些有機酸及聚胺物質與毒性鋁結合，使鋁被阻隔於液泡之中。

預防作物鋁毒害的措施

鋁毒害主要發生在 $\text{pH}5.0$ 以下的強酸性土壤。作物出現鋁毒害時，植物組織中往往鐵和錳的含量較高，而鈣和鎂的含量較低，對鋁離子敏感的作物(如蔬菜、玉米等)，在 $\text{pH}6.0$ 左右便有輕微毒害發生。

防止作物發生鋁毒害的主要措施便是儘量不要使土壤過度酸化，而最有效的方式便是施用石灰資材，提高土壤 pH 使鋁離子沉澱， $\text{pH}5.0$ 以下的強酸性土壤中鋁的飽和度常高達 $70 \sim 80\%$ ，因此目前計算土壤石灰需要量，常使用降低土壤鋁飽和度至 10% 的方式，一方面可提高土壤酸鹼度使各營養要素有效性提高，一方面又可降低土壤中的交換性鋁使鋁毒害不致於限制作物的生長。

另外，應多施有機質肥料取代化學肥料，可使鋁與有機酸形成複合物降低鋁的毒害，有機質肥料中以禽畜糞堆肥對於強酸性土壤 pH 值的提昇效果會比粕渣類的有機肥(如大豆粕、蓖麻粕等)還佳，這是因為粕渣類的有機肥中所含的鹼性離子總量不如禽畜糞堆肥。



▲圖 2. 開英種鳳梨耐鋁，在高鋁 ($300 \mu\text{M AlCl}_3$) 濃度情況下根部生育依然旺盛，在無鋁情況下則生育不佳(左)。隨著水耕液中鋁濃度的增加，台農 6 號鳳梨根部遭受毒害，使得葉片黃化(右)。