

以濃度觀點看鈣離子之吸收與運移

■作物環境課／蔡正賢

鈣是細胞壁結構中果膠鈣的重要成分，可使相鄰的細胞互相聯結，增大細胞的堅硬度；其作用可促進碳水化合物及蛋白質的合成，調節樹體的酸鹼度，平衡生理活性，促進根系吸收及細胞的正常分裂；保持細胞膜完整性及選擇性吸收養分之能力；此外，並可提高抗性，避免草酸及氨的毒害。由於大多數土壤之鈣含量足以供應植體所需，但是許多作物仍有鈣缺乏的問題，尤其是新生組織，因此鈣之吸收及運輸過程，有了解之必要。

作物對鈣的需求因作物種類而定，一般而言，雙子葉植物需要較高的鈣，其中番茄、草莓及甘藍等作物對鈣缺乏較敏感。植物對鈣之吸收主要為受蒸散作用左右之被動吸收，且其再移動利用率低，因此溶液中鈣濃度和鈣吸收息息相關。土壤溶液中鈣離子相當豐富，且為一般土壤中主要陽離子。由於鈣離子容易因為雨水而淋失，施用石灰是維持作物正常生長最好的方法。土壤養分的供給能力，分為養分強度及養分含量。養分強度指的是溶於土壤溶液中的養分濃度，適合作物生長的鈣濃度約 0.1 ~ 4 ppm，土壤酸鹼度至少應在 5.5 以上，鈣的強度才足夠。以養分含量而言，本場對一般作物土壤交換性鈣含量之建議值為 600ppm 以上，對鈣需求較高的作物則應大於 2,000ppm。

雖然鈣離子在土壤溶液中是主要陽離子，但在木質部汁液中，相對於其他陽離子，鈣離子含量並不高。以向日葵木質部汁液鉀離子為例，鈣離子含量約只有鉀離子之七分之一。此現象可能與作物吸收鈣離子屬被動運輸，並局限在根尖有關。鈣離子經由根表皮細胞進入木質部導管之前，需先經過內皮層，隨著根的老化，內皮層中之卡氏帶則會阻礙鈣之吸收，因為根尖卡氏帶之形成較表皮細胞分裂慢，因此鈣離子的吸收只局限於根尖。

鈣離子經由根尖吸收後在木質部中運輸，由於根細胞外圍邊界層的特性，以及根表面吸收養分的速率比平流補充快等原因，在木質部的濃度比土壤溶液高，例如向日葵木質部汁液的鈣濃度約 300 ~ 1200 μ M，遠高於土壤。木質部汁液的溶質濃度變

異較大，顯示作物對溶質的吸收階段，深受土壤及環境的影響，例如土壤水分及蒸散作用。

木質部中溶液之長距離輸送方向是由蒸散作用所支配，使得溶液從根部轉移至莖葉，其運輸路徑，乃由地上部水分之蒸發散速率來決定，而不是由地上部對溶質的需要決定。蒸散作用最強的部位往往發生於成熟的展開葉，於是當蒸散流從根部攜帶養分至地上部時，較不再需要養分的展開葉可分配到較多養分；養分需求較高之非蒸散器官，例如新葉及果實，卻無法靠蒸散流獲得足量養分，而必須經由木質部細胞壁上可交換之部位之離子交換方式獲得。

鈣離子濃度在韌皮部中與其他元素間差異甚大，韌皮部中主要的陽離子為鉀，其含量 40 ~ 100 μ M，可能與平衡韌皮部內胺基酸的電價有關，鈣濃度只有鉀濃度的 1%。韌皮部由活細胞所組成，過高的鈣離子濃度對植物細胞有毒性，例如與磷酸根形成沉澱，只有少部份之鈣經由韌皮部運輸的原因，是為避免產生磷酸鈣沉澱而不能運移。

韌皮部中溶質的運輸主要根據 Munch 在 1930 年代所發表壓力流假設，以溶質之裝載與卸載產生的壓力梯度說明運輸機制及流動方向。此假說引發積貯 (sink) 與供源 (source) 的概念，例如年輕且正在延展中的新葉，需要光合產物以供其生長所需，此時為積貯，而提供光合產物的成熟葉片即為供源。所有的積貯，如新葉，蜜腺，根與發展中的果實，會互相競爭韌皮部中的供源，這些靠韌皮部吸收養份的部位，可能因為韌皮部鈣含量較低，而導致缺乏症狀。

鈣離子濃度從土壤溶液中佔絕大部分，到木質部中略少於其他離子，最終於韌皮部遠少於其他離子，其原因除了受到環境影響外，更與植物特性有關。作物對鈣的吸收並非根據作物需求，再分配時，高需求部位又不易獲得養分，使得鈣缺乏的問題更難解決。許多方法可以改善鈣缺乏症狀，例如控制蒸發散，可以使鈣再分配至高需求部位；此外，控制生長以避免養分競爭，而減緩鈣缺乏，與土壤改良同樣重要。