

鉀對作物生理及病害的影響

蔡正宏

摘 要

鉀不是主要的植物型態架構物質，卻是植物體許多生理及代謝過程中用來活化酶的重要金屬元素，並有維持細胞膨壓、氣孔運動及水分潛勢之功能，另外鉀對光合作用、氣孔傳導及二氧化碳的固定扮演極重要的角色，光合產物韌皮部醣類裝載(loading)、運送速率及卸載(unloading)亦受鉀所調控，且鉀能使植物對逆境有更大的忍受能力。鉀肥的施用型態與方式相當多，根據研究發現，氯化鉀會因為氯離子使葉綠素及葉片中鎂含量下降等缺點，導致光合作用效率下降，而使用氯化鉀加氯化鎂複合肥則可減緩此種狀況，也因為多添加了鎂，可以彌補植株鎂元素不足的問題。鉀肥增加會使甜瓜及番茄果實硬度增加，果肉中可溶性固型物、抗壞血酸及 β 胡蘿蔔素提升，也使番茄茄紅素及胡蘿蔔素增加。鉀肥的有效施用方式依作物種類不同，養液灌溉及葉面噴施鉀肥分別對於特定植物的鉀肥吸收有良好效果，在生殖生長期間有充足的鉀，明顯的抑制番茄黃肩病(Yellow shoulder)生理病害，也使鳳梨的黑心病(Internal browning)有顯著的減少，推測因為鉀使果肉中 PPO、POD 與 PAL 等酵素活性下降，酚類化合物合成受阻，進而抑制了褐化的發生率。因此如果可以適當的調控鉀的施用量、型態及使用方式，它將是一種容易取得且技術簡單又便宜的改進果實品質方法。

前 言

鉀在植物體中與碳、氮等有機化合物不同，它不是植物的型態結構物質，但是植物組織中卻能測得含有高量的鉀。在土壤中與鈣相較，鉀的濃度較低，約為鈣的十分之一；但是在植物體中，鉀濃度卻是鈣的十倍，這可以說明植物對鉀的吸收是高度選擇性的。只有土壤中鉀濃度比植物體高時，會出現被動吸收。

鉀跟氮、磷不同，在植物體中，鉀不是以穩定的有機化合物型態存在，而是以離子型態、水溶性鹽類或吸附在原生質表面等方式存在。有學者發現，將稻

草的浸泡在雨水中，分別在 3、6、9、12、15 小時之後測定氮與鉀含量；發現氮的減少非常輕微，而鉀則是被淋洗掉了一半以上。會有以上的結果發生，是因為細胞中的鉀，20%是交換性的，位於細胞質體上，1%是非交換性的被粒線體所吸附，有近 80%鉀存在細胞質中，很容易被水所提取。因此植物體中的鉀，容易被水所淋洗流失。

內 容

鉀在生理上對植物的影響

主要分為三個主題來說明：1.鉀對植物光合作用的影響。2.鉀對光合產物運送速率的影響。3.鉀對逆境抗性的影響。

1.鉀對光合作用的影響方面

試驗利用葉片氣體交換速率來計算光合作用率及葉片阻抗，在中斷鉀供應之後，光合作用速率的變化在脫氧空氣與正常空氣中，光合作用速率都下降。而在鉀中斷供應之後，兩者的葉面傳導阻力都上升；另外鉀濃度的改變對於氣孔及葉肉傳導阻力都產生影響，隨著鉀濃度提升阻力都越低，因此推測原因可能是因為鉀的缺乏使葉片二氧化碳擴散阻礙力增加，最後導致光合作用下降。另外的試驗中也證明充足鉀確實可以使玉米的光合作用速率顯著提升的。在許多文獻中都指出，二氧化碳同化速率與光合作用有高度相關性，鉀對於二氧化碳同化率的實驗中，發現隨著鉀供給的提升，二氧化碳同化速率也上升，促進了二氧化碳同化量，相對可使光合作用效能提升。另外也有實驗發現，光合作用中光呼吸及葉片中鉀的含量明顯因為鉀處理而提高，而暗呼吸因為鉀濃度的提高有下降的趨勢，光呼吸的改變根據前人研究推測，因為缺鉀時光合作用下降，一些需要靠二氧化碳固定來產生的受質減少，像是 RuBP 等酵素活性，因此光呼吸下降，所以當光合作用正常時，光呼吸也跟著提升。在光合作用電子傳遞鏈系統 PSI、II 對鉀供應濃度的改變都沒有顯著的影響，但證實 RuBP 的活性則會因為鉀的加入而提高，而 RuBP 活性的減少，將減少了植物對二氧化碳的固定。因此可以說明前述所說光合作用與光呼吸下降的原因，相對光合作用的降低也影響了 RuBP 的合成，所以兩者是互相關聯的。根據前述研究所得的結果，

鉀能夠增進植物的光合作用速率，減少葉片及氣孔的傳導阻力幫助固定二氧化碳。

2. 光合產物運送速率及淨光合作用的影響

葉面施鉀後對於植物的光合產物速率會有顯著的影響，如果使用碳 14 標定二氧化碳，追蹤植物莖中光合產物傳輸速率的變化，結果可發現傳輸速率有兩個明顯的反應，當使用 5~50 mM 氯化鉀時增加了植物體中物質的傳送速率，但是當超過 50 mM 後，傳送速率下降，可能在超過一定鉀濃度後就無法再提升傳輸速率，或因為使用的材料型態為氯化鉀，使用量增加，內含的氯離子會對植物體造成傷害。如果追蹤光合作用後葉片中蔗糖上的碳 14，只使用 5、30、100 mM 三種濃度的氯化鉀，同樣施用 5~30 mM 時促進了植物傳輸蔗糖的速率，但是再提高氯化鉀濃度就會讓速率下降。鉀對葉片中蔗糖含量的影響方面，在正常充足鉀的葉片中，蔗糖含量非常很低，但是在缺鉀的葉片中，蔗糖含量不斷累積。在棉花中也發現相似結果，缺鉀及使用充足鉀的植株，葉片中的葡萄糖含量有相當大的差異，在使用 0 kg 鉀的時候，葉片中葡萄糖含量比使用一般濃度鉀肥時來的高。反觀在韌皮部中的蔗糖含量，一般正常的韌皮部蔗糖含量與缺鉀的植株相較之下，含量較高。因此可以推測因為缺鉀，會使的韌皮部運送光合成產物受到阻礙，在韌皮部及葉片的糖類裝載(loading)、運送速率及卸載(unloading)受鉀所調控。鉀的供給影響了植物運送光合產物的速率，充足的鉀可以使葉片製造的產物傳送到莖中，但缺鉀時，產物則會累積在葉片中無法運送，但是根據目前的研究報告並未證實鉀究竟是因為直接影響了糖類運輸方式，還是間接因為促使蔗糖合成增加。

3. 鉀對逆境抗性的影響

當光由葉片接收經過光合作用電子傳遞鏈系統 PSII 與 PSI 後，由電子傳遞鏈送出電子，而二氧化碳的固定在缺鉀情況下受阻，電子轉而與氧結合，產生一些活性氧化物 ROS，這些活性氧化物會傷害植物體導致細胞的損害。電子能量不能與二氧化碳反應的另一個傷害，是導致光合成產物合成減少。而缺鉀情況下韌皮部的運送受到限制，蔗糖合成後無法運送，因此鉀在一連串的反應中，都扮演重要的角色。在乾旱逆境中，有充足鉀供應的植株，在乾旱環境下淨光合作用減少輕微，而在缺鉀的植株中，乾旱明顯的使光合作用速率下降。在逆境中需要鉀的原因，推測可能是因為，鉀在二氧化碳的固定中扮演重要的角色，

在乾旱中植物會將氣孔關閉以維持水分不蒸散，當氣孔關閉二氧化碳固定量減少，就會使的 ROS 的生成更為增加，ROS 增加會使的細胞損壞，這些因素都間接使光合作用速率下降。如果低溫逆境中，缺鉀情況下，馬鈴薯的塊莖產量減少，葉片壞死率增加，因為低溫逆境下，光合作用電子傳遞鏈、氣孔傳導、RUBISCO 活性及二氧化碳的固定過程都是主要受到攻擊的主要對象，而這些目標也通常都是在缺鉀情況下所會影響到的部分，因此如果在低溫逆境下缺鉀，相對植體受損情形又會更加嚴重。因此植物在缺鉀時，易產生 ROS 破壞植物細胞，而逆境下，有充足的鉀可以保持植物體代謝的正常；但缺鉀時，反而會使逆境傷害更為嚴重。

鉀對果實生產品質與生理病害的影響

許多研究中發現，鉀肥的增加可以使作物的產量、品質提升。在多種的鉀肥中，選擇哪種對於作物最有幫助，又能夠對植物不造成危害？以氯化鉀及硫酸鉀這兩種鉀來源比較，發現當氯化物越多，葡萄的產量就會越少，推測可能是因為氯離子在一定濃度下對某些作物會造成傷害，也會讓葉綠素含量下降。而硝酸近來常受到衛生健康團體重視，硝酸態氮的施用會有殘留硝酸鹽離子的疑慮，分別以氯化鉀、硝酸鉀及氯化鉀氯化鎂化合物 3 種不同型態的鉀在溫室中種植番茄，發現這 3 種鉀型態對於產量、果數、平均果實重量等，都沒有顯著的差異；但是氯化鉀增加了果實的硬度，用硝酸鉀則會有較多的果實腐爛發生。其中使用氯化鉀氯化鎂化合物是因為要減少植物對於鎂元素的流失，因為氯化鉀會造成植物缺鎂的情況，鎂直接影響葉綠素含量，而在使用氯化鉀氯化鎂化合物後確實得到了提升葉綠素含量的效果。因此回歸上段所推論，氯離子確實會影響到植物的一些生理現象。因此在果實測定中，葡萄糖含量、乾物質重量及鎂元素含量，在氯化鉀氯化鎂化合物中都有最高表現。

根據文獻，不同濃度鉀肥對果實品質影響，僅有內容物上的改變，對生長性狀並沒有顯著影響，內容物在可溶性固型物與維生素 C 含量產生明顯變化，在鉀施用濃度為 240 mg l^{-1} 時得到最高糖含量與最多的維生素 C 含量。在果肉色澤及總胡蘿蔔素含量也會因為鉀含量提升而增加。鉀也影響了番茄果實中 β 胡蘿蔔素及茄紅素的含量，茄紅素是最近番茄重視的主要品質之一，鉀增加了茄紅素含量，但在 β 胡蘿蔔素的生成上，卻因為鉀的增加有減少的趨勢，因為茄紅素其實是類

胡蘿蔔素的一種，在類胡蘿蔔素的生成路徑中 β 胡蘿蔔素跟茄紅素是兩條不同的路徑，所以當所能使用的原料偏向製造茄紅素的時候，能製造 β 胡蘿蔔素的原料自然就減少。

鉀在植物營養生長時，吸收並不會受到限制，但是當植物進入生殖生長，因為果實與植物器官間的競爭，根部發育受限，使鉀吸收量減少，因此施鉀方式的重要性也相對提升。葉面施鉀的方式，每兩週噴一次、每週噴一次與一般的土壤施肥方式比較下，採收天數兩週噴跟每週噴在都比土壤施肥早兩天。在果實、果皮及果肉硬度上每週施鉀的果實硬度較高，但 3 種施肥方式下，果實表皮的鉀含量並沒有明顯的變化，在皮下果肉及中間部分的果肉鉀含量才有較明顯的變化，植體中醣類跟著鉀運移，因此在葉面施鉀對甜瓜果實果糖、葡萄糖、蔗糖跟總糖類含量，都是由每週噴鉀的處理含量較高。果實品質方面，內部果肉色澤，每週及雙週噴鉀都讓果肉有更深的橙色，可溶性固型物在葉面施鉀下有提升，維生素 C 及 β 胡蘿蔔素也都明顯的因為葉面噴鉀而提高了含量。

在許多研究中也發現了鉀對於作物的生理病害具有防制的效果，在番茄黃肩果(Yellow shoulder)病害上有明顯的效果，以養液灌溉的病害發生率最低，也發現當葉面噴鉀時，反而使的病害發生率上升。鉀對於鳳梨黑心病(Internal browning)也具有抑制效果，在施鉀之後，測定鳳梨葉片中鉀的含量，因為施鉀濃度不同隨著逐漸上升，依鉀濃度的不同果實的黑心病症都有明顯的被抑制，而褐化常常是跟酚類化合物相關的，測定果肉中酚類化合物的變化發現鉀濃度上升，果肉中酚類化合物也隨之減少。另外還測定果肉中一些酵素的活性變化，首先是 PPO 活性，不施鉀處理時 PPO 活性達到最高，隨著鉀處理濃度增加，PPO 活性漸漸下降。在 POD、PAL 活性方面趨勢一樣會隨著鉀的濃度增加而升高，PAL 是文獻中，合成酚類化合物的關鍵酵素，因此 PAL 活性下降使的酚類化合物含量減少，黑心病減少。

結 論

鉀能維持植物的生理過程正常進行，並且保護植物使逆境傷害減至最低，增加果實品質與營養物含量，使生理病症發生率減少。氯化鉀因為氯離子，有葉綠素及葉片中鎂含量下降等害處，導致光合作用效率下降，而使用氯化鉀氯化鎂化

合物可以保彌補氫離子使植株鎂元素不足的問題。鉀肥果實硬度增加，果肉中可溶性固型物、維生素 C 及茄紅素增加。依作物種類不同，養液灌溉及葉面噴施分別對於特定作物的鉀肥吸收有良好效果。鉀可以使 PPO、POD、PAL 等氧化酵素活性下降，也讓酚類化合物的生成量減少。在生殖生長期間有充足的鉀，能明顯的抑制番茄黃肩果生理病害，也使鳳梨的黑心病顯著減少。如果可以適當的調控鉀的施用量及使用方式，它將是一種容易取得且技術簡單又便宜的改進果實品質方法。

參考文獻

1. 何念祖、孟賜福 1987 植物營養原理 上海科學技術出版社 434p。
2. 林永鴻、洪崑煌 2000 土壤中鉀的行為對作物吸收鉀的影響 科學農業 48(1、2): 36-41。
3. 黃裕銘、陳建中、吳正宗 2003 養液鉀氮比及夜間停止養液供應對小白菜生長及養分吸收之影響 農林學報 52(2): 61-67。
4. Cakmak, I. 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plant. J. Plant Nutr. Soil Sci. 168: 521-530.
5. Chapagain, B. P. and Z. Wiesman. 2004. Effect of potassium magnesium chloride in the fertigation solution as partial source of potassium on growth, yield and quality of greenhouse tomato. Sci. Hort. 99: 279-288.
6. Doman, D. C. and D. R. Donald. 1979. Supplied foliar potassium on phloem loading in *Beta vulgaris* L. Plant Physiol. 64: 528-533.
7. Edelbauer, A. 1978. The influence of different chloride ion sulfate ion ratios in nutrient solutions applied to vines *Vitis vinifera* on grape yields mineral composition of leaves and stems and bud susceptibility to frost. Zeitschrift fuer Pflanzenernaehrung und Bodenkunde 141(1): 83-94.
8. Hartz, T. K., P. R. Johnstone, D. M. Francis and E. M. Miyao. 2005. Processing tomato yield and fruit quality improved with potassium fertigation. HortScience. 40: 1862-1867.

9. Hartz, T. K., E. M. Miyao., R. J. Mullen and M. D. Cahn. 2001. Potassium fertilization effect on processing tomato yield and fruit quality. *Acta Hort.* 542: 127-133.
10. Huber S. C. 1981. Inter- and intra-specific variation in photosynthetic formation of starch and sucrose. *Z Pflanzenphysiol.* 101: 49-54.
11. Lester. G. E., J. L. Jifon and G. Rogers. 2005. Supplemental foliar potassium applications during muskmelon fruit development can improve fruit quality, ascorbic acid, and bata-carotene contents. *J. Amer. Soc. Sci.* 130: 649-653.
12. Lester, G. E. 2005. Whole plant applied potassium: effect on Cantaloupe fruit sugar content and related human wellness compounds. *Acta Hort.* 682: 487-492.
13. Lin, D., D. Huang, and S. Wang. 2004. Effects of potassium levels on fruit quality of muskmelon in soilless medium culture. *Sci. Hort.* 102: 53-60.
14. Pettigrew, W. T. 1999. Potassium deficiency increases specific leaf weights and leaf glucose levels in field-grown cotton. *Agron. J.* 91: 962-968.
15. Peoples, T. R. and D. W. Koch. 1979. Role of potassium in carbon dioxide assimilation in *Medicago sativa* L. *Plant Physiol.* 63: 878-881.
16. Soares, A. G., L. C. Trugo, N. Botrel and L. F. D. S. Souza. 2005. Reduction of internal browning of pineapple fruit (*Ananas comusus* L.) by perharvest soil application of potassium. *Postharvest Biol. Technol.* 35: 201-207.
17. Tester, M. and M. R. Blatt. 1989. Direct measurement of K⁺ channels in thylakoid membranes by incorporation of vesicles into planar lipid bilayers. *Plant Physiol.* 91: 249-252.
18. Trudel, M. J., Ozbun J. L. 1971. Influence of potassium on carotenoid content of tomato fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 96: 763-765.
19. Terry, N. and A. Ulrich. 1973. Effects of potassium deficiency on the photosynthesis and respiration of leaves of sugar beet. *Plant Physiol.* 51: 783-786.