

優游於生物體中的鉀離子

鉀離子是生物體中不可或缺的生長要素，在動物細胞裡，它可維持細胞膜的電位平衡，也能壓抑神經衝動達到止痛效果；就作物而言，它可增加纖維素的合成，促使莖稈健壯並增加抵抗病蟲害的能力。

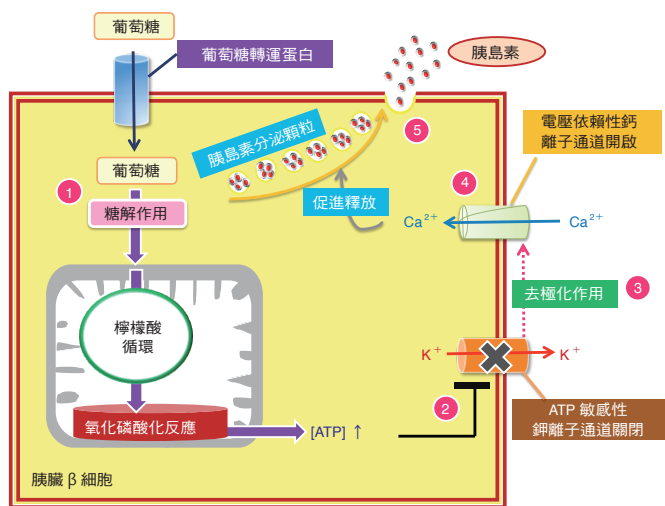
■ 郭朝禎

膜電位的變化

生物體的代謝運作是由多種機制的調節以維持長期的恆定性，例如肝醣的儲存、血糖的平衡、pH 值的穩定、血氧濃度的調節、蛋白質合成、含氮廢物的排除、膜電位的平衡等，其中膜電位的產生與鉀離子 (K^+) 息息相關。

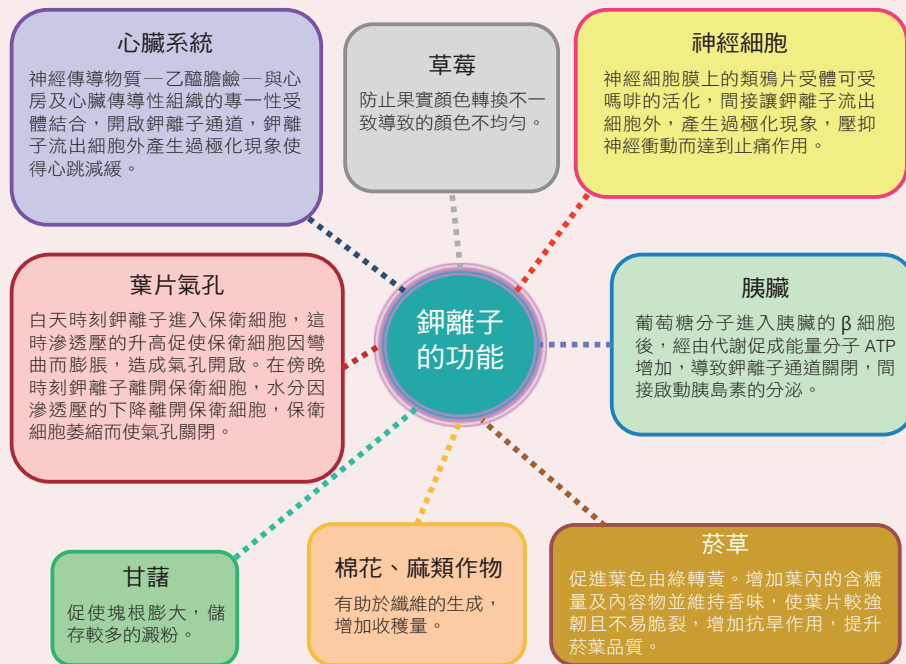
在動物體裡，細胞膜外帶正電，而膜內帶負電，那是因為靜止平衡電位時，細胞膜對鉀離子的通透性較高，使得較多鉀離子由膜內移到膜外所致。在神經傳導上，把鉀離子由細胞內移動到細胞外，就可對興奮性神經細胞起煞車作用，使神經衝動趨於緩和。

例如自主神經系統中的副交感神經所分泌的神經傳導物質—乙醯膽鹼，一旦與心房及心臟傳導性組織的 M2 亞型毒蕈鹼受體結



在胰臟 β 細胞中，鉀離子 (K^+) 在通道的進出受到葡萄糖代謝的調控，並影響了後續細胞膜電位的變化及胰島素的分泌。當血液中葡萄糖濃度上升時，葡萄糖進入 β 細胞代謝後，可做為能量來源的 ATP 濃度增加，進一步抑制了鉀離子通道的活性，鉀離子通道因而關閉，造成細胞內鉀離子濃度增加及細胞膜去極化，導致電壓依賴性鈣離子 (Ca^{2+}) 通道的開啟，最後增強胰島素的分泌。

鉀離子引導的膜電位變化在胰島素的分泌上扮演著關鍵性的角色，並促進了後續降血糖藥物的研發。



鉀離子的功能

合，可促使鉀離子通道開啟，鉀離子流出細胞外產生「過極化」現象而使心跳減緩。

部分天然藥物就是透過這一機制發揮療效，眾所熟知的嗎啡就是經由活化細胞膜上的 μ 或 δ 類鴉片受體，引發細胞內的訊息傳遞作用後，讓同樣位在膜上的鉀離子通道打開，使大量鉀離子流出細胞外，進而使細胞膜電位產生過極化現象，壓抑了神經衝動而達到止痛作用。

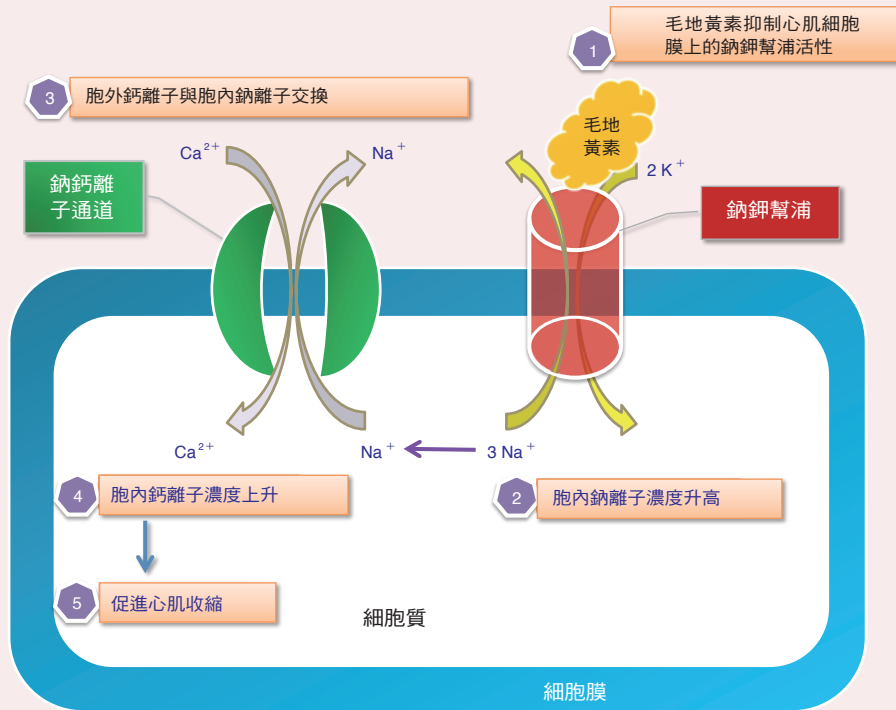
這種鉀離子引導的膜電位變化在胰島素的分泌上更扮演著關鍵性的角色，並促進了後續降血糖藥物的研發。當葡萄糖分子進入胰臟的 β 細胞後，經由糖解作用代謝產生能量分子ATP，ATP數量的上升會導致 β 細胞上的ATP—敏感性鉀離子通道關閉，間接造成電壓依賴性的鈣離子通道開啟，鈣離子進入 β 細胞使胰島素的分泌

啟動。臨床上磺醯尿素類藥物能用於糖尿病的治療，它的機轉就在於抑制ATP—敏感性鉀離子通道活性而增強胰島素的分泌。

鉀離子與心律不整

當血液循環體積減少伴隨血壓下降時，腎上腺皮質受刺激所分泌的荷爾蒙—醛固酮—作用於腎臟遠曲小管及皮質集尿管，可增加鈉離子(Na^+)、水分的再吸收及鉀離子的排除，於是血液體積上升，血壓回復正常值。利尿劑的使用便是根據類似的原理，藉由減少腎小管對電解質的再吸收，增加鈉離子的排泄，並伴隨水分的排泄，可治療某些疾病（例如肝硬化或鬱血性心臟衰竭）所造成的水腫。

但這一類藥物常因鉀離子的排除使得體內鉀離子流失較多，造成低血鉀症。為



心肌細胞膜上的鈉鉀幫浦能使 2 個鉀離子 (K^+) 運入細胞內，同時使 3 個鈉離子 (Na^+) 逆濃度梯度主動運出細胞外，維持細胞內低鈉高鉀的狀態。當鈉鉀幫浦的運輸功能受到心臟刺激藥物——毛地黃素——的抑制時，心肌細胞內的鈉離子濃度上升、鉀離子濃度下降。這時鈉鉀幫浦功能的失效，引發鈉鈣離子通道的開啟，胞外鈣離子得以與胞內鈉離子交換，造成心肌細胞內的鈣離子濃度上升，引發心肌興奮收縮達到強心的效果，但因造成細胞內鉀離子濃度過低而有心律不整的現象。

了減少這類藥物的副作用所引起的代謝異常，後續研發的醛固酮拮抗劑（又稱為保鉀型利尿劑）可把鉀離子保留在體內，避免產生低血鉀症。

此外，強心配醣體——毛地黃素——是一種心臟刺激藥物，可促進心肌收縮力，增強冠狀動脈血流量，以達到治療鬱血性心臟衰竭的功效，但同樣因造成細胞內鉀離子濃度過低而有心律不整的現象。因此，服用強心劑的心衰竭患者若需合併使用利尿劑治療時，則以保鉀型利尿劑來降低鉀離子的流失量較恰當。



甘草是豆科多年生草本植物，根部是主要藥用部位，所含的活性成分——甘草酸苷——具有等同於醛固酮的藥理作用，食用過多會導致血液中鈉離子濃度上升而鉀離子濃度下降。這低血鉀症狀會影響神經與肌肉的功能，產生全身無力的狀態。

鉀離子在細胞內外濃度的變化不僅影響動物的神經傳導，甚至關係到植物的生理調控與發育。

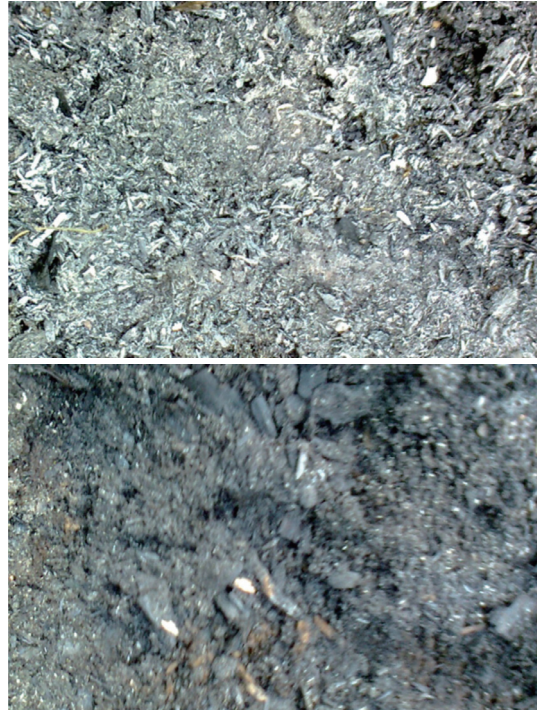
中草藥裡的甘草根含有一種稱為甘草酸苷的化合物，具有等同於醛固酮的藥理作用。在過去的臨床案例中，常有人因喜愛甘草的美味而把它當作零食，身體中的甘草酸苷的濃度增加，導致血液中鈉離子濃度上升而鉀離子濃度下降，這種低血鉀症狀會影響神經與肌肉的功能，產生全身無力的狀態。相反地，當肌肉受到壓傷、砸傷或過度運動而導致橫紋肌溶解症時，肌細胞因壞死釋放出肌球蛋白、鉀離子等大量內容物於血液中而造成高血鉀現象，這種血液電解質的不正常也容易引起心律不整的症狀。

鉀離子與氣孔的開闔

鉀離子在細胞內外濃度的變化不僅影響動物的神經傳導，甚至關係到植物的生理調控與發育。

植物行光合作用時，二氧化碳會進行同化作用以合成澱粉及蔗糖，保衛細胞的二氧化碳濃度因而下降，間接使得鉀離子由周圍表皮細胞進入保衛細胞。保衛細胞內因溶質濃度升高促使滲透壓升高，水分便由表皮細胞滲透進入保衛細胞，這時細胞壁的纖維素微絲會因膨壓逐漸升高而向外拉緊，使保衛細胞因彎曲而膨脹，造成氣孔開放而引入二氧化碳。

相反地，在傍晚時刻因缺少光線的刺激，二氧化碳濃度因植物行呼吸作用而升高，這時鉀離子離開保衛細胞，水分因滲透壓的下降離開保衛細胞使膨壓逐漸降低，保衛細胞因萎縮而使氣孔關閉。



雜草、木頭、稻草等混成堆後點火燃燒可產生的灰色（上圖）或黑色草木灰（下圖）。若燃燒時空氣無法順暢流通而燃燒不完全時，燒出來的灰主成分是碳酸鉀，外觀黑色且易溶於水，可做為速效性肥料。相反地，在空氣充足的狀態下，燃燒較完全，雜草所含的矽酸會與碳酸鉀作用生成帶有矽酸鉀的灰色草木灰，矽酸鉀水溶性較差，植物吸收的效果非常有限，肥分比碳酸鉀低。

草木灰提供鉀元素

對植物體而言，鉀與氮、磷、鎂等都是生長發育必須攝取的 17 種要素之一。稱為必須攝取的元素，是因為它們的功能在植物體內無法以其他元素替代，一旦缺乏就無法正常生長發育。與鐵、錳、鋅、銅、硼、氯等微量元素相比，作物對鉀的需求量相當大。



以果實為收穫目的的農產品—番茄—而言，植株種在缺乏鉀離子的土壤上常使果實顏色轉換出現障礙，導致顏色分布不均勻。

鉀肥有助於碳水化合物如纖維素的合成，促使莖稈健壯並增加抵抗病蟲害的能力，因此鉀肥又稱為莖肥。但土壤中的有機質與黏土礦物所釋出的養分並無法滿足作物的需求，需靠化學肥料的補充以確保作物產量與品質的提升。早期的農業社會並無化學肥料可用，鉀肥的來源主要是草與木頭燃燒形成的草木灰，鉀含量約在 5 ~ 11 % 左右。就一般含鉀量而言，闊葉樹高於針葉樹，硬木高於軟木，木灰高於草灰，以菸草燒成的灰的含鉀量則可高達約 25 %。

雖然雜草燃燒後所產生的草木灰蘊藏豐富的碳酸鉀，然而影響草木灰含鉀成分的因素，是燃燒時溫度的高低及空氣的流通狀態。把雜草、木頭、稻草等混成一堆後點火燃燒，若在這堆廢棄物上再覆蓋更多的雜草，使得空氣無法順暢流通，則會因燃燒溫度無法提高而導致燃燒不完全，這樣燒出來的灰主成分是碳酸鉀，外觀黑色且易溶於水，可做為速效性肥料。溶於水的碳酸鉀進一步解離所產生的碳酸是有機酸，又可促進磷的溶解，增加磷肥的有效性。



施用適當的鉀肥有助於甘藷塊根膨大，累積較多的澱粉（左圖），一旦土壤中缺乏鉀，塊根則無法有效膨大（右圖）。

相反地，把混成堆的廢棄物移至爐子裡燃燒，在空氣充足的狀態下，溫度較高，燃燒較完全，雜草所含的矽酸會與碳酸鉀作用，生成帶有矽酸鉀的灰色草木灰。矽酸鉀水溶性較差，植物吸收的效果非常有限，肥分因而較低。因此，黑灰的肥效優於白灰就在於水溶性碳酸鉀含量較多。

既然可藉由燃燒方式獲取草木灰增加土壤的鉀肥，是否可以進一步添加尿素、硫酸銨或氯化銨等銨態氮肥，更增添土壤肥分呢？事實上，這樣的做法往往無法達到預期的效果，關鍵在於碳酸鉀所處的土壤中易產生鹼性環境。

由於不同肥料的化學性質不同，彼此間會有相容性的問題，一旦把兩個本質上不相容的東西放在一起，衝突或耗損就在所難免。例如銨離子 (NH_4^+) 本身有不善於與鹼性肥料打交道的特性，當它遇上鹼性的物質如碳酸鉀時，會釋放出氣體形式的氨。氨的形成等同 NH_4^+ 從土壤中跑掉，造成氮肥肥效降低，也因此銨態氮肥應避免施用在 pH 值超過 7 以上的土壤中。草木

灰也含有為數不少的鈣，若同時混合水溶性磷酸肥料，會生成溶解度較差的磷酸鈣，也讓磷肥有效性降低。

縱然草木灰有些許不合群的性格，但對於某些作物種苗的預措卻有相當大的功效，例如甘藷塊根及馬鈴薯塊莖在種植前以草木灰塗布在切口處，可促進發芽並防

止腐敗，塗在果樹（桃、梨等）發病的根皮則可防治根腐病。

另一方面，草木灰具有較細的微粒，能使引發病害的蟲體氣孔阻塞使其死亡。因此，施撒草木灰在韭菜或大蒜葉片上可防治病蟲害，並有增產的效果。總之，就植物對鉀肥的需求而言，草木灰的利用等

鉀肥的種類

鉀肥種類	適用範圍	適用因素	不適用範圍	不適用因素
氯化鉀	水稻、小麥、棉花、玉米、高粱、花生、大豆、麻類作物	氯離子有助於光合作用，並能讓纖維變粗，韌度提高，適用於棉花、麻類等纖維作物	1. 忌氯作物：馬鈴薯、甘藷、甘蔗、柑橘、甜菜、葡萄、茶樹、番茄、菸草、西瓜、辣椒、蘋果、白菜 2. 避免對果樹行葉面施肥	1. 氯離子使細胞膠質起膨脹作用，馬鈴薯塊莖顯著增加水分，因而減少乾物質尤其是澱粉的含量 2. 氯離子的存在易使菸葉色澤變劣，並有燃燒不良的問題 3. 氯離子易傷害果樹葉面
硝酸鉀	1. 忌氯作物：馬鈴薯、甘藷、甘蔗、柑橘、甜菜、葡萄、茶樹、番茄、菸草、西瓜、辣椒、蘋果、白菜 2. 可對果樹行葉面施肥	菸草耐燃時間較長	避免施用水田	厭氧條件下會有脫氮現象，造成氮肥損失
硫酸鉀	蔥、薑、大蒜及忌氯作物：馬鈴薯、甘藷、甘蔗、柑橘、甜菜、葡萄、茶樹、番茄、菸草、西瓜、辣椒、蘋果、白菜	1. 使細胞膠質起收縮作用，塊莖含水量減少，因而澱粉量提高 2. 菸草耐燃時間較長	水稻	硫酸根離子在厭氧條件下易還原成硫化氫使水稻根部變黑，影響生長
草木灰 (含大量碳酸鉀)	塗於果樹(桃、梨)根皮、馬鈴薯塊莖、甘藷塊根、韭菜及大蒜葉片	1. 可防治果樹根腐病 2. 可促進甘藷及馬鈴薯發芽並防止腐敗 3. 可防治韭菜或大蒜病蟲害，並有增產效果	忌與尿素、硫酸銨等氮肥一起施用	銨離子遇上鹼性物質如碳酸鉀會釋放出氣體形式的氨，氨的形成等同氮肥從土壤中跑掉

於是自然的法則來提高土壤中鉀離子的濃度或防治病害，不需依賴化學肥料或農藥也可以促進植物生長，並減少對生態環境的干擾。

作物的生長

鉀如同氮與磷都屬於移動性元素，一旦土壤中的肥分較低，植物營養缺乏時，老葉中的移動性元素就可輸送至幼葉及嫩芽，供這些部位生長發育所需，這效應使老葉會先呈現營養不良及老化的症狀。因此，當土壤中的鉀離子極度缺乏時，老葉的葉尖或葉緣前端會局部黃化並逐漸枯乾成燒焦狀，且葉肉出現褐色枯狀斑點，但新葉的上位葉部分因有老葉的鉀離子灌注而不受影響。

鉀離子缺乏的危害並不僅止於葉片，也包含對果實外觀的影響。以果實為收穫目的的農產品如番茄，植株種在缺乏鉀離子的土壤上常有果實顏色轉換出現障礙的情形，導致顏色分布不均勻。此外，植物莖稈的強韌度依賴纖維素的支撐，而纖維素的合成有賴鉀離子的幫忙，因而鉀離子的缺乏也間接導致莖稈較柔弱，植株遇缺水則容易萎凋。而對以塊根為收穫部位的甘藷而言，鉀離子的缺乏會使得塊根無法膨大，累積的澱粉也會較少。

對為數眾多的吸菸族來說，抽菸時要讓菸草燃燒得較完全並有令人愉悅的香氣，鉀離子是不可或缺的推手。特別是在菸草的生長過程中，適當的鉀肥能促進葉色由綠轉黃，增加葉內的含糖量及內容物並維持香味，使葉片更強韌且不易脆裂，又能增強抗旱作用，提升菸葉的品質。

過去人們由長年耕種所累積的經驗發現，菸葉生長初期下位葉的葉尖及葉緣會



在於草的栽培與發育階段，施用硫酸鉀或硝酸鉀做為鉀肥，可顯著增加菸葉的燃燒性，防止香煙燃燒自熄。

出現黃色斑點，生長後期斑點則出現在上部葉片，並有乾枯破脆的情形。雖知是營養不良所致，但不明白是缺乏哪種營養，後來以化學分析方法終於找到了病因——土壤裡缺鉀。

既然已知缺乏的要素，解決之道自然是補足它，但自然界中的鉀離子並不單獨存在，而是與陰離子結合成化合物，形成不同化學性質的鉀肥。鉀離子分別與陰離子如氯離子（ Cl^- ）、硫酸根離子（ SO_4^{2-} ）及硝酸根離子（ NO_3^- ）結合所形成的氯化鉀、硫酸鉀、硝酸鉀及前文提到的碳酸鉀，都是農業上常使用的化學肥料。使用這些肥料為植物灌注營養，植物所吸收到的並不只是鉀離子，也包含了對應的陰離子。

由於作物對陰離子的需要量有所不同，因而對於它們的種類有偏好與選擇性。若陰離子的種類不是植物所必需且對植物會造成生理性的傷害，補充了鉀肥雖解決了當下的問題，卻製造了另一個問題。因此，

摸清楚目標植物的喜好與避開有害的元素，才能有合理化施肥的效果。例如由早期的肥效試驗結果可知，菸草所施用的鉀肥以硫酸鉀或硝酸鉀效果較佳，氯化鉀則被列入黑名單中。

這是因為施用硫酸鉀或硝酸鉀的菸草，其耐燃時間較施用氯化鉀的長，又氯化鉀中氯離子的存在易使菸葉色澤變劣，並有燃燒不良的問題。在其他喜鉀忌氯的作物產量上，馬鈴薯、甘藷、樹薯的澱粉量以及甜菜、甘蔗的含糖量也會因為施用氯化鉀而顯著降低。氯化鉀則較適用於水稻、小麥、棉花、玉米、高粱等作物。氯離子有助於光合作用和纖維的形成，適用於棉花、麻類等纖維作物。

水稻不使用硫酸鉀的原因在於硫酸根離子在厭氣條件下，易還原成硫化氫使水稻根部變黑而影響生長。此外，硫酸鉀本

身是生理酸性肥料，多餘的硫酸根離子會使土壤酸性加重，甚至加劇土壤中活性鋁、鐵對作物的毒害，且在石灰性土壤中，硫酸根離子與土壤中的鈣離子會生成不易溶解的硫酸鈣（石膏）造成土壤結塊。

由此可見，鉀肥使用的選擇除了要考量不同植物的需要量外，更要配合土壤酸鹼值特性，才能真正發揮提供營養素的效果。

郭朝禎

高雄醫學大學醫學研究所

