

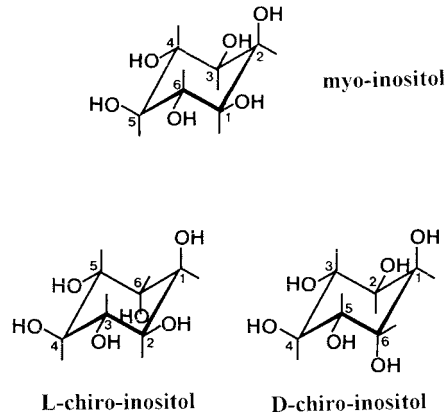
植物細胞肌醇類成分之生理功能及生物活性

◎化學組·王振瀾 ◎育林組·簡慶德

談到植物中的“碳水化合物”(carbohydrate)，一般人所認知的通常是每天生活中不可或缺的“糖類”，例如：單糖類的葡萄糖、果糖、半乳糖，雙糖類的蔗糖、乳糖、麥芽糖，以及多糖類的澱粉、纖維素等。對於植物新陳代謝過程中另一項重要的碳水化合物－肌醇(inositol)，就比較不熟悉了。本文簡要說明肌醇類化合物之結構、功能及活性，以期增進研究同仁及相關學者對此類植物成分有更明確的認識和了解，或可啟動更多跨領域的研究工作及開發其可能的應用潛力。

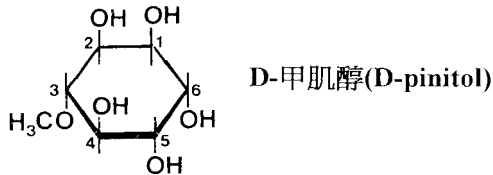
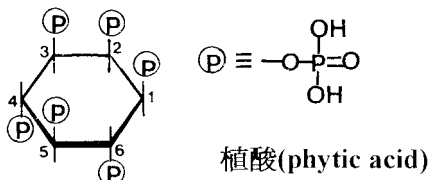
“肌醇”是“環己六醇”(1,2,3,4,5,6-hexahydroxycyclohexane)的簡稱。肌醇之分子式為 $C_6H_{12}O_6$ ，分子量為180，乃是單糖類(monosaccharide)的同分異構物。此成分存在於多數植物細胞中，主要是由葡萄糖(glucose)經過生合成途徑(biosynthetic process)而形成，中間產物包括6-磷酸葡萄糖(glucose-6-phosphate)及1-磷酸肌醇(inositol-1-phosphate)等。從化學結構方面來探討肌醇，得知此項化合物看似簡單，實則有9種“立體異構物”(stereoisomers)。這些異構物間的差別乃在於6個羥基(-OH)排列於六碳環結構面“上方”(above)及“下方”(below)的不同組合。在9種結構中，最重要且普遍存在於植物中的是myo-inositol (1,2,3,5,4,6)，其次是L-chiro-inositol (1,2,4/3,5,6)和D-chiro-inositol (1,2,4/3,5,6)。括弧內數字代表羥基排列於環狀結構面(上方/下方)之連接碳原子位序；其中，L-chiro-為順時針方向(clockwise)，而D-chiro-為反時針方向(counterclockwise)。(如

圖一)肌醇myo-inositol是植物細胞膜的重要組成成分，碳水化合物代謝的中間產物(intermediate product)，並且可由此肌醇轉化合成其他立體同分異構物及衍生物。因此，肌醇對於植物生長和維護細胞正常功能方面都具有相當的重要性。肌醇類及相關衍生物又統稱為“環醇”或“環狀糖醇”(cyclitols)。



圖一 三種主要肌醇(inositol)之立體化學結構式

由肌醇所形成的衍生物主要有“植酸”(phytic acid)和“D-甲肌醇”(D-pinitol)；前者之化學結構名稱為“myo-inositol hexaphosphoric acid”，後者為“1D-3-O-methyl-chiro-inositol”。(如圖二)植酸是成熟種子內含量最多的有機磷成分，與種子發芽有密切關聯性，可能的作用是提供發芽過程中所需要的“高能量磷酸基”(high-energy phosphate)。通常在種子發芽的前2天，植酸含量變化不明顯；但接著經由酵素水解釋放磷酸基，含量就快速減少；到發芽第8~12天之間，則大部分植酸含量均被消耗殆盡。此外，研究結果顯示，肌醇衍生物會表現某種特殊的生物活性；

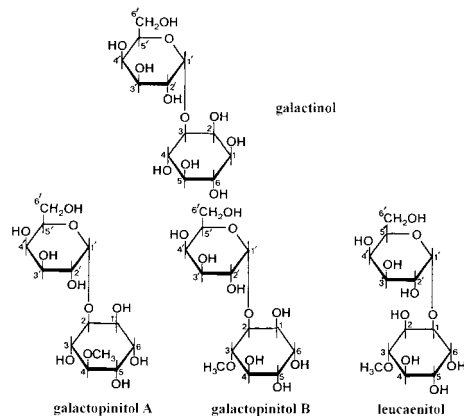


圖二 植酸和D-甲肌醇之化學結構式

例如，豆科植物葉部的甲肌醇成份乃是昆蟲體內 myo-肌醇代謝過程的”拮抗劑” (antagonist)，因此可以形成抗蟲效應。(Dreyer et al.,1979)

糖化肌醇 (glycosyl inositol) 也是一項存在於植物細胞內的重要肌醇衍生物，而且在種子內含量最多。(Obendorf,1997) ”半乳糖肌醇” (galactinol) 和”半乳糖甲肌醇” (galactopinitol) 則是二項代表化合物。其中，”半乳糖肌醇”為一個galactose分子和一個myo-inositol分子結合而成；而”半乳糖甲肌醇”則是一個galactose分子和一個D-pinitol分子結合而成。由於結合位置的不同，半乳糖甲肌醇主要有 galactopinitol A (簡稱Galpi A) 和galactopinitol B (簡稱 Galpi B) 以及”leucaenitol”等三種結構。(如圖三) 半乳糖肌醇乃是合成”棉子糖系列寡糖”(oligosaccharides in raffinose series) 的主要中間物，可以提供合成所需的半

乳糖分子。棉子糖 (raffinose) 是蔗糖和半乳糖結合而成的一種”三糖”(trisaccharide)，而棉子糖可以再接上一個及二個半乳糖分別形成”水蘇糖”(stachyose，四糖)和”毛蕊花糖”(verbascose，五糖)。這數種糖類統稱為”棉子糖系列寡糖”，存在於許多植物的種子內，具有保護乾燥種子的重要功能，可使種子不致於喪失活力。但是，在種子食用後，因為人體消化系統無法分解吸收此類寡糖成份，而造成”氣脹效應”(flatulence)。至於”半乳糖甲肌醇”，則存在於諸多豆科植物種子內。在種子成熟以前，此成分含量逐漸增加；直到成熟階段，達到最高含量。但開始發芽後，經由酵素水解，含量就驟然降低下來。近年來，研究結果顯示半乳糖甲肌醇對於增進種子耐旱性 (desiccation tolerance) 及抗寒性 (cryotolerance) 都有相當重要的功能。其中，leucaenitol (O- α -D-galactopyranosyl-(1 \rightarrow 1)-3-O-methyl-D-chiro-inositol) (參考圖三)



圖三 半乳糖肌醇和三種半乳糖甲肌醇之化學結構式

是從薩爾瓦多銀合歡 (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) 種子內分離得到的一種半乳糖甲肌醇。(Chien et al.,1996) 試驗結果顯示,此項成份和蔗糖混合後有良好的”玻璃質化形成”(glass formation或 vitrification) 效應,可以保護人工脂囊膜,免受乾燥為害。換言之,leucaenitol 成分可能是增進銀合歡種子耐旱性的主要因素之一。不過,從同屬於豆科樹種的相思樹 (*Acacia confusa* Merr.) 種子內分析出來棉子糖和水蘇糖成分,卻未檢測到半乳糖甲肌醇。(Wang & Chien) 棉子糖系列寡醣和半乳糖甲肌醇均屬於”水溶性非還原糖”(soluble nonreducing sugars),在室溫情況下可以形成類似玻璃、透明膠質液的型態結構,也就是前述的玻璃質化效應。此項結構對於乾旱種子的細胞膜具有保護作用,同時還能避免細胞內成分的結晶化,減緩細胞的生化反應,阻止細胞質因乾燥所產生的劣化作用。(Shen et al.,2000)

肌醇(myo-inositol)和甲肌醇(D-pinitol)均屬於”多醇類”(polyols)。依據最新的研究資料,得知此類成分還有”清除自由基”(free-radical scavenging)的生物活性。例如,對於具有強力細胞攻擊性的”羥自由基”(hydroxyl radical, ·OH) 就有相當良好的清除效果。其中,甲肌醇的效力更優於肌醇。此項性能不但可以減少植物細胞內有害自由基的含量,對於種子保存方面有重要的意義,同時在健康食品抗氧化功能方面應當也有其價值。肌醇除了是植物細胞內的重要成分外,醫學方面的研究結果顯示myo-inositol和

D-chiro-inositol 二種肌醇化合物在動物體內”胰島素”(insulin)的作用機制方面也扮演著重要的角色。胰島素是控制血糖代謝的關鍵荷爾蒙,若代謝不正常而導至血糖值過高就是糖尿病(diabetes)的症狀。糖尿病又分為第一型(type I)和第二型(type II)兩類。第一型係先天的胰島素分泌不足造成的血糖代謝異常;而第二型則是胰島素分泌正常,但由於後天因素以致於功能受到阻礙無法發揮作用,又稱為”非胰島素依賴型糖尿病”(non-insulin-dependent diabetes mellitus),簡稱NIDDM。(Kennington et al.,1990)醫學研究發現在胰島素作用過程中會形成二種”肌醇-糖胰島素介體”(inositol glycaninsulin mediators)。其中一種介體(pH~1.3)包含myo-inositol成份,另一種介體(pH~2.0)則包含D-chiro-inositol;兩者均具有調控相關酵素的功能。試驗結果並證實D-chiro-inositol的缺乏和第二型糖尿病的形成有密切的相關性。(Fonteles et al.,1996)最近,還有研究結果顯示D-pinitol具有類似胰島素的降低血糖功能,但是對胰島素本身的作用則並無增強效應。因此,D-pinitol的調節機制可能是在連結”胰島素接受器”(insulin receptor)和”葡萄糖傳輸”(glucose transport)的”訊息路徑”(signalling pathway)中產生”交互作用”(interaction),以促進訊息傳導效能。目前,以D-chiro-inositol及D-pinitol為主要成份的治療第二型糖尿病新藥劑正在持續研究開發之中。因而,篩選富含此兩種成份的植物,以提供相關應用之所需,也將是一項具有發展潛力的研究工作。⊗ (參考文獻請逕洽作者)