



愛玉說愛玉凍的化學

傅麗玉^{1,*}、楊水平²

¹國立清華大學師資培育中心

²國立彰化師範大學化學系

*lyfu@mx.nthu.edu.tw

n 愛玉和原住民族的關係

今（2015）年九月初，再次拜訪阿里山的達邦部落，吃著非常美味的愛玉（見圖一），和當地的鄒族友人聊天。原來愛玉和原住民族間有著非常緊密的的文化關係。愛玉成熟時就會吸引許多猴子、果子狸、松鼠、飛鼠、山豬、山羌來尋找食物，因此愛玉的成熟時間也是打獵季節來臨的時候。鄒族、布農族、太魯閣族、魯凱族和賽夏族，都各自有為愛玉命名。愛玉的布農語是tabakai。愛玉的太魯閣族語是runug。魯凱語為twkunuy。賽夏語是rapit。我在阿里山學到阿里山鄒族叫愛玉為skikiya（斯基基阿），而poezi'e skikiya就是採愛玉的意思。其中愛玉的太魯閣族語為runug，本身也是「地震」的意思，筆者猜測是否因為愛玉凍那種Q彈的動感，而獲得這個太魯閣族語名稱。

圖一：好吃的檸檬愛玉（傅麗玉攝，2015）

有趣的是，愛玉學名當中的「awkeotsan」，與目前「愛玉攪」的臺灣話發音非常接近。筆者猜想或許是因為愛玉是1871年蘇格蘭旅行攝影師John Thomson所說的西拉雅族「魔法果凍」。他說：「這些原住民到底是施了什麼魔法，為什麼他們將果莢裡的小種子泡在冷水裡，就可以變出美味可口的琥珀色果凍！」。



n 愛玉在臺灣

愛玉的果實外觀乍看像土芒果，但是表面密佈白色斑點，學名為Ficus pumila L. var. awkeotsang (Makino) Corner，在分類上屬於桑科（Moraceae）、榕屬（Ficus），雌雄異

株，隱花果（見圖二）。愛玉子其實是成熟的瘦果（種子）。

圖二：乍看像土芒果但表面密佈白色斑點的愛玉果實（傅麗玉攝，2015）

愛玉是一種臺灣特有藤本植物，生長時會慢慢往上攀爬到大樹上，只要樹夠高大，讓它有不斷攀爬的空間，加以週邊環境合適，可能長到30公尺，甚至50公尺，可存活數十年以上。愛玉適合生長在濕潤涼爽的環境。臺灣的野生愛玉生長在中高海拔1,500公尺以下的山區，攀附在大樹或岩石上。



n 愛玉的採收和處理

嘉義阿里山是野生愛玉產量最多的地方。採集野生愛玉子是鄒族人非常重要的經濟活動。從9月開始到2月期間，鄒族人組隊進入森林採野生愛玉。開始採收時，一定要有簡單的祈福儀式，祈求採收工作平安順利。通常四人一組，兩個人穿著雨鞋爬到樹上採愛玉，將愛玉



丟下，讓另外兩個人撿拾。在樹上的人要注意不要從樹上掉下來，還要避開蜂窩。樹下的人要能撿到愛玉，也要注意避免被丟下來的愛玉打傷。採集愛玉的團隊一上山，有時要在山上停留一個星期。真的是非常辛苦又危險，體力與眼力或技術不好，都不能勝任採集愛玉的工作。

處理愛玉的第一步是趁新鮮立刻削皮，族人先在手抹麵粉或碾碎的米糠，如此可以避免手沾黏愛玉的黏稠膠質。削皮後，比較容易將內部果籽割開外翻，然後烘乾與曬太陽，絕對避免濕氣（見圖三和圖四），否則愛玉籽很快變黑。



圖三：經過削皮、外翻並乾燥處理的愛玉（未包裝）和刮下的愛玉子（在袋中）（傅麗玉攝，2011）



圖四：刮下的愛玉子的特寫（傅麗玉攝，2015）

n 愛玉凍的形成

愛玉凍的形成是愛玉子的果膠（pectin）分子與硬水中的兩價金屬離子反應，形成凝膠。果膠沉積在植物的初生細胞壁和細胞間層，做為細胞內部的支撐物質，是植物細胞間質的重要成分。耐心用手搓洗愛玉子，讓愛玉子表面經由手的擠壓摩擦與水流的力量，溶出愛玉凝膠，製成愛玉凍的效果最好（見圖五）。攪拌時果膠會溶出，並開始和硬水中的金屬離子鍵結；愛玉子的數量必須足以讓溶液中的果膠量 and 多重價數的離子產生鍵結。因此洗愛玉子必須有耐心，讓愛玉子有充分時間溶出果膠。筆者曾經為了節省時間，嘗試用果汁機攪拌愛玉子，結果失敗，因為高速攪拌的結果，反而破壞愛玉子，讓愛玉子內部抑制凝固的果膠酯酶抑制劑物質流出，以致無法製作出愛玉凍（李佳佩，2001）。

圖五：耐心用手搓洗愛玉子的基本動作（傅麗玉攝，2011）

整個處理愛玉的過程，包括刮愛玉子或是洗愛玉，所有的器具都必須完全無油污，因為在有油脂的環境中溶進油裡，果膠分子不易與水中的礦物質離子鍵結。油的成份讓愛玉無法結凍。再者，加熱愛玉子也不能製作愛玉凍，因為果膠酯酶在高溫下會失去活性。礦物質含量高的水，其凝膠效果最好，經過蒸餾處理的水無法製作愛玉凍。適當的鹽類濃度對果膠酯酶有促進功效，但濃度過高會造成活性降低，愛玉凍會不斷出水（林讚標，1991）。愛玉凍若放置時間超過6小時會不斷出水，且無法再次結成愛玉凍。



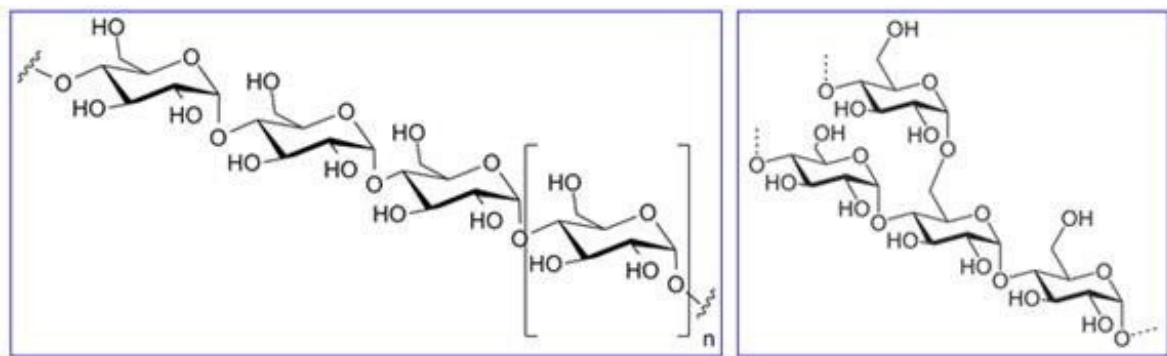


圖六：用搓洗過的愛玉子所捏塑成的愛玉子娃娃（傅麗玉攝，2015）

n 愛玉凍的化學原理

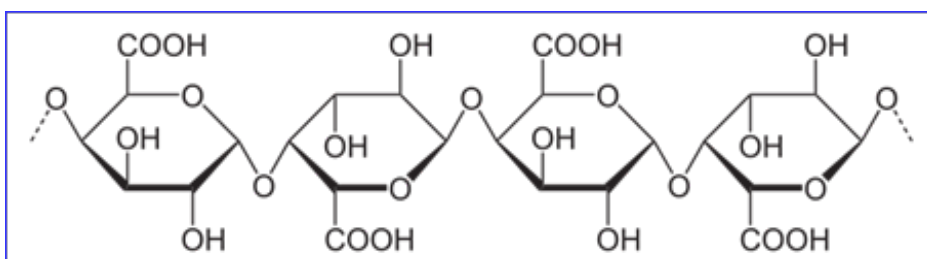
在李柏宏（2000）的博士論文中，他探討有關愛玉含果膠的文獻裡，提到黃永傳和陳文彬（1979）的文章（愛玉凍原料植物—愛玉之回顧與前瞻）描述到：日本研究者三宅和大野於1930-1933年間，判斷愛玉子之凝膠黏性物質是果膠，其旋光度 $[\alpha]_D = +275.8^\circ$ ，甲氧基（methoxyl content）含量為8.47%。大野等（1934）以酒精沉澱法純化愛玉凍料的黏性物，得到純白粉的愛玉果膠，分析其成分得水分析佔9.26%，灰分佔0.65%，半乳糖醛酸（galacturonic acid）佔90.33%，甲氧基含量為11.8%。井上（1936）分析愛玉子之果膠中所含之甲氧基含量，用Zeisel法得到7.99%，用皂化法得到9.7%。〔作者註：此處的甲氧基含量即為被甲基酯化的半乳糖醛酸（methylated galacturonic acid）而形成的半乳糖酸甲脂（galacturonic acid methyl ester）的甲氧基。〕

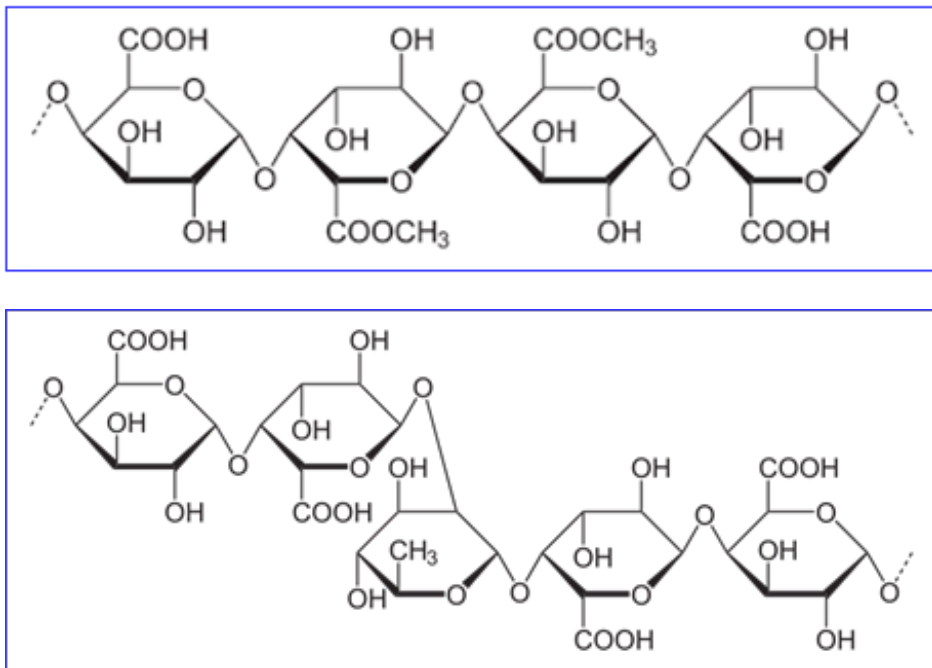
果膠分子是一種天然高分子化合物，與澱粉分子的結構類似。澱粉分子的單體為葡萄糖（glucose），果膠分子的單體為半乳糖醛酸、半乳糖酸甲脂及葡萄糖。澱粉分子分為直鏈澱粉（amylose）和支鏈澱粉（amylopectin），其結構式如圖七所示。果膠分子具有半乳糖醛酸、半乳糖酸甲脂、半乳糖醛酸或／和葡萄糖混合的結構式，如圖八所示。



圖七：直鏈澱粉（左）和支鏈澱粉（右）的結構式

（圖片來源：左圖，<https://en.wikipedia.org/wiki/Polysaccharide>；右圖，<https://en.wikipedia.org/wiki/Starch>。）





圖八：果膠分子具有半乳糖醛酸（上）、半乳糖酸甲脂（中）、半乳糖醛酸或／和葡萄糖混合（下）的結構式

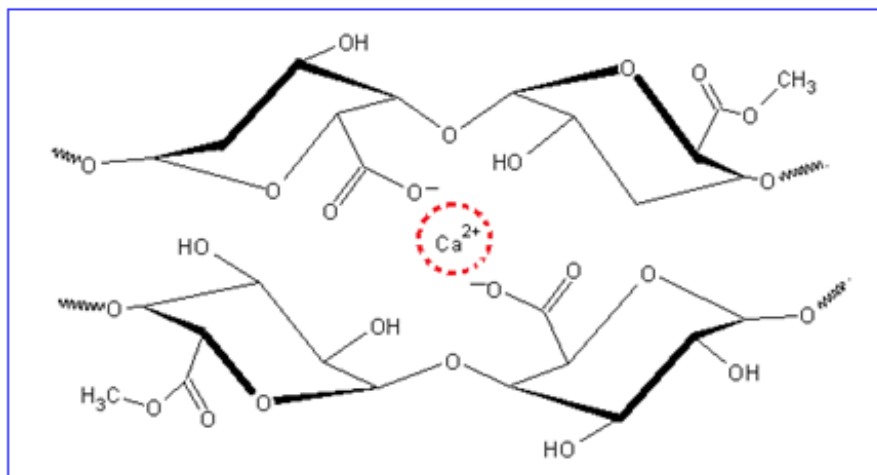
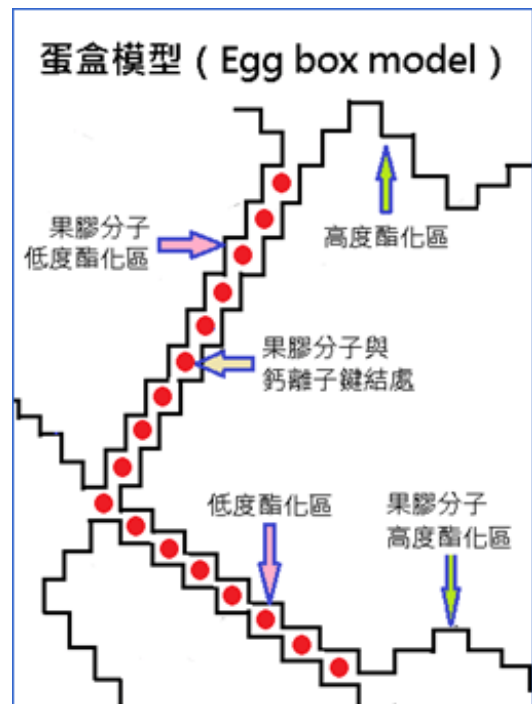
（圖片來源：<https://de.wikipedia.org/wiki/Pektine>。）

愛玉凍的形成的化學原理是愛玉子中的果膠分子之半乳糖酸根（一種羧酸根離子，此處為甲酸根離子）與硬水中兩價的鈣離子或／和鎂離子反應，而形成的果膠凝膠（pectin-gel）。果膠凝膠的形成端視加入的糖量、pH值及兩價鹽（尤其是鈣離子）而定。

在高酯化果膠（high-esterified pectin）中，可溶性固形物（通常是指含有葡萄糖單體的果膠）含量高於60%且在pH 2.8-3.6的條件下，個別果膠分子的長鏈會藉由氫鍵和疏水原子團的相互作用力而結合在一起。這些鍵結和靜電力的形成如同水分子與糖分子之間的作用力一樣，使個別果膠分子的長鏈縮在一起而非以一條長鏈形式存在。因此，高酯化果膠不易與硬水中兩價金屬離子反應。

在低酯化果膠（low-esterified pectin）中，硬水中的鈣離子或／和鎂離子等兩價金屬離子與半乳糖醛酸的羧酸根離子之間反應，而形成離子橋（ionic bridges），兩條長鏈之間進行交聯作用（crosslinking），這類的形成模型被稱為“蛋盒模型（egg-box model）”，示意圖如圖九所示。鈣離子與半乳糖醛酸的羧酸根離子之間的反應，其詳細的結構式如圖十所示。低酯化果膠需要二價的金屬離子來形成凝膠，在較低的可溶性固體和更高的pH值的條件下，低酯化果膠形成凝膠比高酯化果膠為佳。通常，低酯化果膠形成凝膠有利條件是：pH值在2.6-7.0之間且用可溶固形物含量在10-70%範圍。

圖九：硬水中的鈣離子與半乳糖醛酸的羧酸根離子之間反應而形成“蛋盒模型”的示意圖，在低酯化區的一條線段代表一個半乳糖醛酸，紅色圓圈代表一個鈣離子（楊水平繪，2015）



圖十：鈣離子與半乳糖醛酸的羧酸根離子反應之詳細結構式，四個半乳糖醛酸中的兩個各帶一價的甲酸根離子與兩價的鈣離子反應而形成羧酸鈣，兩條長鏈之間進行交聯作用而緊密的連結在一起，使果膠凝膠（愛玉凍）形成。（楊水平繪，2015）

n 愛玉日漸委縮的警惕

受到氣候變遷以及不當的山林開發，愛玉的生長環境受到破壞，以致野生愛玉的產量日漸委縮，甚至可能消失滅絕，也衝擊原住民族人的經濟，迫使原本以採收愛玉為生的族人，還要下山到平地打工討生活。因為野生愛玉來源不足，近幾年市面上開始出現非天然的假愛玉凍。不瞭解愛玉的人們可能會被假愛玉的亮麗外表和便宜的價格所蒙蔽，而捨棄顏色比較暗沉又容易出水的真愛玉。人類與自然是生命共同體，當人類恣意不當開發而破壞自然的同時，其實也在傷害自己生存的空間。野生愛玉的逐漸消失正是一種警惕。

n 參考資料和延伸閱讀

吳京虎、吳登楨和盧美君（2008）。愛玉子平地栽培生產技術。農政與農情，第197期。文章網址：<http://www.coa.gov.tw/view.php?catid=18505>。

李佳佩（2001）。愛玉子果膠酯酶抑制劑之理化性質分析及應用性探討。國立臺灣大學食品科技研究所碩士論文，台北市。

李柏宏 (2000) 。愛玉子凝膠性質及愛玉品質之研究。國立臺灣大學農業化學研究所博士論文，台北市。

房業涵和張肇源 (2015) 。假愛玉添加澱粉 熱量飆30倍。華視新聞網，2015年8月25日。 <http://news.cts.com.tw/cts/general/201508/201508271653443.html>。

林讚標 (1991) 。愛玉子專論。行政院農委會林業試驗所。

阿里山愛玉哥網站，製作流程，採收， <http://www.iuqo.com.tw/process/2>。

張瑀庭 (2013) 。會沉下去的愛玉是假的，別吃！商業週刊，2013年7月31日。文章網址：<http://www.businessweekly.com.tw/KBlogArticle.aspx?ID=4214>。

認識愛玉子。莉莉「水果有約」月刊，第9期。 http://www.lilyfruit.com.tw/data_29/book_01.php。

歐素美 (2010) 。平地種愛玉大豐收。自由時報，7月1日。

Pallavi M. Chaudhari and Pravin D. Chaudhari, Formulation and characterization of extruded and spheronized pellets using pectin and crosslinking agents, *Journal of Chinese Pharmaceutical Sciences*, 2014, 23 (11), 790–798, ID: 1003–1057(2014)11–790–09.

Pectin gelation mechanism, silvateam, <http://en.silvateam.com/Products-Services/Food-Ingredients/Pectin/Gelation>.

Pectin, Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Pectin>.

Pektine, Wikipedia, <https://de.wikipedia.org/wiki/Pektine>.

Polysaccharide, Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Polysaccharide>.

Starch, Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Starch>.

20885 Total Views 4 Views Today