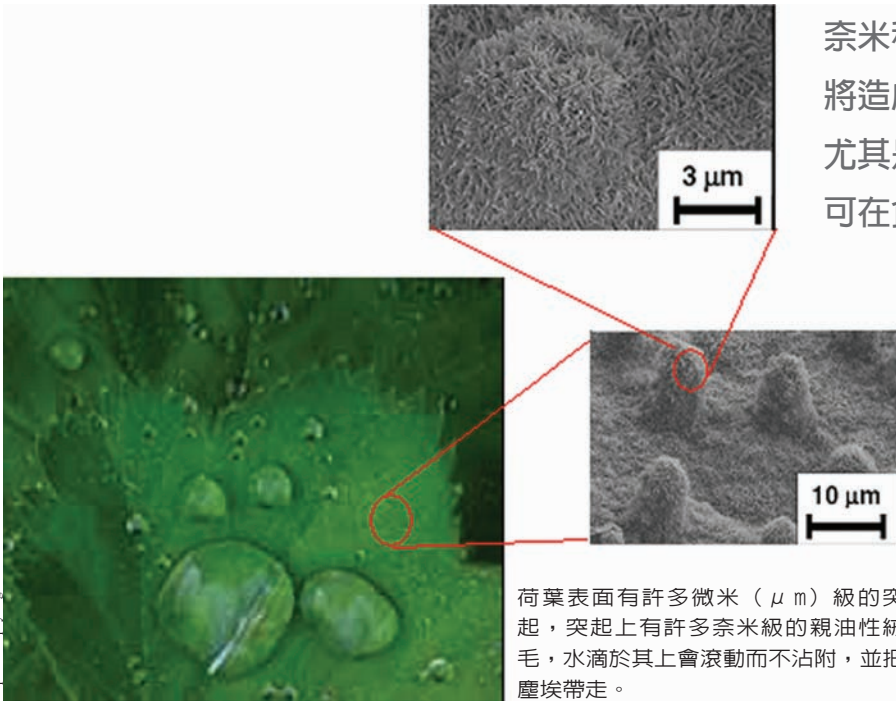


奈米科技與食品

奈米科技對於全球的食品系統將造成革命性的改變，尤其是生物分析奈米偵測器，可在食品安全性上扮演重要角色。

■ 葉安義

圖片來源：Cheng et al. (2006). Nanotechnology, 17, 1359-1362. 及 Zyga (Feb 17, 2006). PhysOrg.com. 見 <http://www.physorg.com/news/0964.html>



荷葉表面有許多微米 (μm) 級的突起，突起上有許多奈米級的親油性絨毛，水滴於其上會滾動而不沾附，並把塵埃帶走。

奈米科技

奈米科技已成為世界科技的潮流與新經濟的希望，1990年第1屆國際奈米科學技術會議在美舉辦，自此宣告奈米科學技術的誕生，並奠定了奈米科技研究與發展的基礎。根據美國國家奈米技術開創中心的估計，到了2015年，奈米科技的總產值將達1兆美元，因此世界各國競相投入大筆研究經費。歐洲以德國、英國、法國等投入較多，共投入近兩億美元的研究經費，亞洲以日本最多（6億5千萬美元），中國大陸居次（兩億美元），台灣與韓國並列第3（1億5千萬美元）。

1奈米 (nanometer, nm) 是 10^{-9} 米，人體中的蛋白質約在1~20奈米之間，若以頭髮為度量單位，其直徑的千分之一約為10奈米。奈米尺寸物質的性質介於原子、分子的量子效應與一般宏觀物質之間，常會產生新的特性與現象。蓮的出污泥而不染，就是一個大自然中奈米科技的典型例子。

蓮葉表面上有許多微米 (μm) 級的突起，突起上有許多奈米級的親油性絨毛，水滴在上面會滾動而不沾附，並把塵埃帶走，這種結構造就了蓮花的特性。運用這個觀念，發展出特殊的表面處理技術，應用於包裝、廚浴設備、化妝品、家具、家電等，已經與大眾的生活息息相關。

根據美國國家奈米技術創新中心的定義，奈米科技包括以下3項：物件或結構尺寸範圍在1奈米至100奈米之間的研究；因尺寸達到奈米等級，所衍生出物理、化學、生物等特性的改進技術；工作或操作的對象是分子等級的物件（相關資料可參閱網址 <http://www.nano.gov>）。一般而言，只要尺寸在1至100奈米之間，其物化性質的研究和材料的製造、操作，以及相關量測技術、儀器研發等，都可稱為奈米科學和技術。至於大小介於100~1,000奈米之間的粒子，則屬於次微米層級。

奈米科技包括以下3項：物件或結構尺寸範圍在1奈米至100奈米之間的研究；因尺寸達到奈米等級，所衍生出物理、化學、生物等特性的改進技術；工作或操作的對象是分子等級的物件。

奈米科技的應用

半導體奈米材料的研究進展較快，與食品相關的奈米科技研究則起步較晚。根據統計與預測，2006年奈米食品的產值是4億1千萬美元，到了2012年，將增加為58億美元，食品包裝材料的產值則由2005年的11億增加為2010年的37億美元。屆時全球參與奈米食品相關產品開發的公司將超過4百家，美國與日本居於領先地位，中國大陸則是後起之秀。

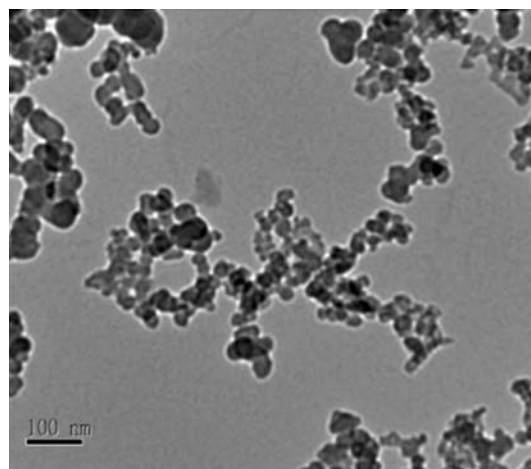
奈米科技對於全球的食品系統將造成革命性的改變，新的農業及食品安全體系、醫療製劑在體內的運送方法、分子和細胞生物學的探測工具、檢測病原菌的感測元件、有關的環保問題等，都是奈米技術在醫藥和食品系統上產生影響的領域。尤其是生物分析奈米偵測器，可在食品安全性上扮演重要角色，是防止恐怖份子破壞食品供銷系統的利器。

藉由奈米技術可增加對食品成分微結構的了解，並探討成分間交互作用對食品構形、流變性質與功能性的影響。如果能在奈米材料製備與穩定化技術方面有所突破，將能有效地應用於功能性飲料、高效能過濾器、微包覆系統等方面，目前的研究以智慧輸送系統、偵測系統與奈米材料為主流。

根據《福貝斯／伍爾夫奈米技術報導》(Forbes/Wolfe Nanotech Report)，許多食品公司包括克瑞福(Kraft)、雀巢(Nestlé)、HJ漢斯(HJ Heinz)、賀須食品(Hershey Foods)、優你來富(Unilever)等，都已著手進行奈米食品的相關研究。雀巢與優你來富以改善食品質地的奈米乳化技術為主，雀巢同時還研究有效傳輸營養補充劑與抗氧化劑的奈米膠囊技術。克瑞福則著重於聰明包裝與過濾的奈米技術，生產個人化產品。

克瑞福更聯合15所大學與國家研究機構，成立耐諾蛻克(NanoteK)奈米技術在食品方面的應用研發聯盟。其中富瑞迪(Voridian)與耐諾柯(Nanocor)共同發展奈米複合包材，以提高材料機械性質與阻絕性。耐諾柯發展電子鼻與電子舌，利用指紋圖譜鑑別食品污染物與相關品質。歐億爾福瑞希(OilFresh)發展奈米陶瓷填充物，改善傳統油炸製程(降低吸油量及反式脂肪酸)。杜邦公司的研究項目則包括藥物傳輸、食品工程、表面處理、奈米粒子與懸浮液的穩定技術，一般咸信食物及藥品經奈米化處理，應可改善活性成分的溶解與分散性質。

國內業者也已展開研究工作，並把產品商品化。例如九鼎生技研發的奈米中草藥，已有商品上市。德英生技把黃耆等複方有效成分奈米化，期能增加效用。味全與統一公司推出以提高鐵與鈣吸收率為訴求，添加奈米鐵與奈米鈣的奶粉與鮮乳產品。台糖公司研發出趨奈米冬蟲夏草菌絲體與趨奈米靈芝菌絲體。國內食品界的學者也已開始從事相關研究，並多以中草藥為原料，期能增加產品的生物可利用性。



靈芝子實體經研磨後達奈米級粒子尺度的顯微結構

奈米科技對於全球的食品系統將造成革命性的改變，新的農業及食品安全體系、醫療製劑在體內的運送方法、分子和細胞生物學的探測工具、檢測病原菌的感測元件、相關環保問題等，都是奈米技術在醫藥和食品系統上產生影響的領域。

奈米粒子的製備

製備奈米材料的原則可分為兩種：「由上而下」與「由下往上」。由上而下是以研磨、奈米印刷術或精密工程切割分化的方法，把一般物質切細成奈米級的結構體。由下往上則是運用鍵結的處理，由可自組裝的個別原子或分子建構成奈米結構體，是製備有機奈米粒子較常用的方法，可用於活性物質的包覆（膠囊化），以及具自我清潔或能依環境因子而改變顏色的塗料研發。另外，例如利用共價或離子性的交鏈方式，使幾丁聚醣在適當條件下形成數百奈米大小的奈米粒子，可以做為藥物的良好載體。

由上而下的方法較容易量化，適用於生物聚合物的奈米化，常用的方法包括介質研磨與高壓對撞均質化。介質研磨是利用介質（直徑是0.2~0.8毫米）以剪切、撞擊等作用，把大物質研磨成奈米粒子。這種方法通常不會改變分子結構，較適用於固體物質，與其他微細化設備比較，具有容易操作、結構簡單、研磨速率高、能源消耗低等優點。

在國科會的補助下，證實可以利用介質研磨法把靈芝研磨為奈米級的粒子，來取代萃取的方法。經奈米化後，靈芝多醣與幾丁質含量明顯增加，初步測試可抑制肝癌細胞的生長，對人體細胞無害，目前正進一步驗證數據。

另外，纖維素是目前全球營養學家公認需要多攝食的成分，但它的口感很差，是多數人不喜歡吃的原因。筆者在研究中把纖維素研磨成奈米/次微米的等級後，具有非常滑順的質感，可取代重奶油蛋糕中的奶油或其他烘焙食品中的用油，預期可進一步改進配方，朝商品化用途邁進。由此可見，研磨方法可用來開發對人體健康有益的產品。

重奶油蛋糕。左圖實驗組是以研磨過的纖維素100%取代原有的奶油所製成的。右圖是控制組。



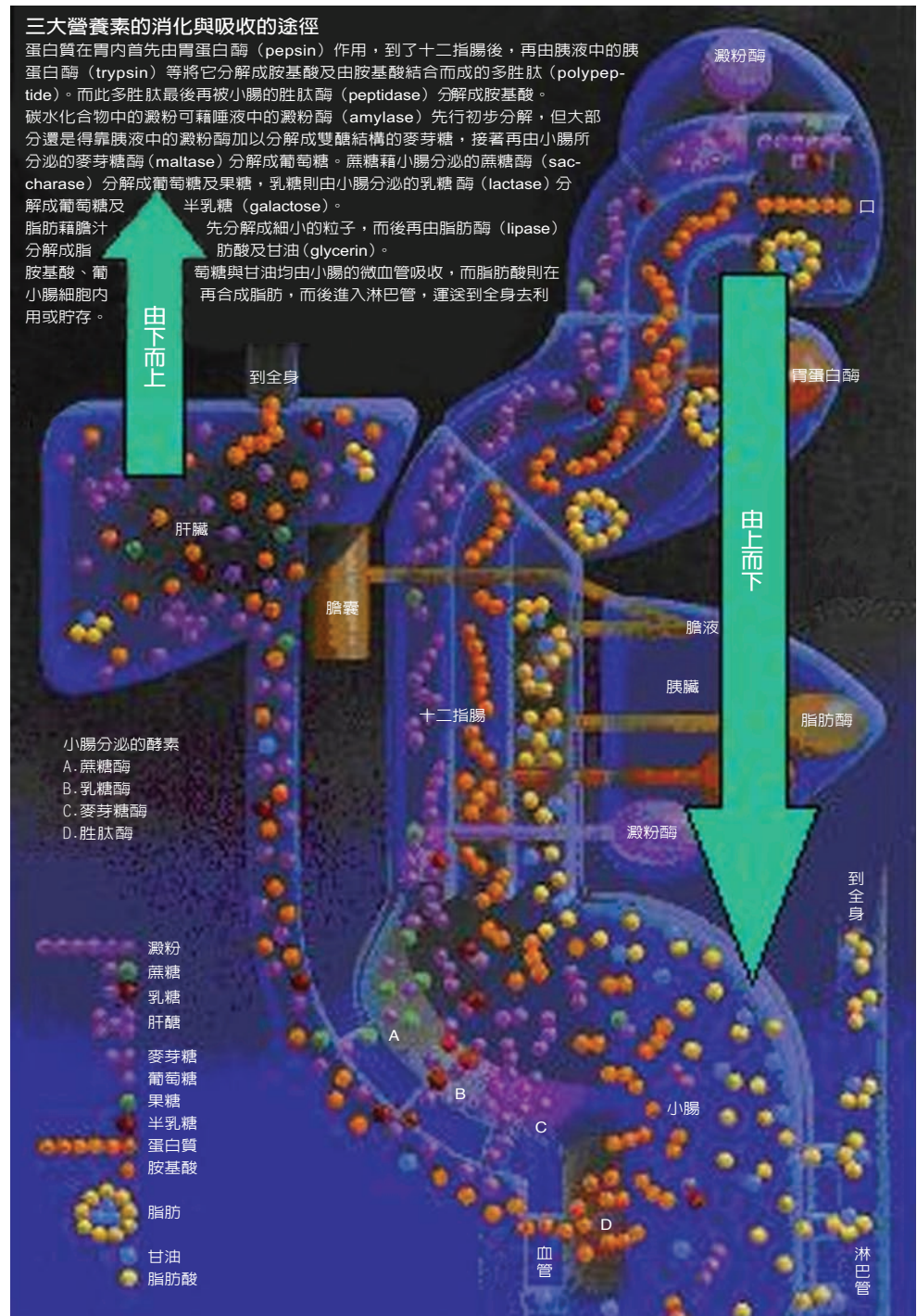
圖上來源：歐陽毅

至於高壓對撞均質化則是利用壓力讓粒子在非常微細的鋼管中高速流動，粒子在高速撞擊後破裂，達到粉碎的目的。但採用這方法時，固體物質易造成管路堵塞，因此較適用於液體。

反觀人體對食物的作用，進入口中的食物應是公分的尺度，經咀嚼後，降為公釐的尺度後吞入肚中。經胃酸作用，食物成為糜狀，再進入腸中，經酵素消化，粒徑逐步下降，最後成為分子層級才能被人體吸收，不消化的成分則排出體外。

因此人體的口、胃、腸是用「由上而下」的方法，逐步地把食品微米化、奈米化與分子化。如果預先把食物奈米或次微米化，會有助於消化系統不良者的吸收。至於被腸道吸收的分子，經酵素合成作用成為人體所需的物質，則是一種精巧的「由下往上」的途徑，目前人類的各項技術尚難望其項背。

不論是以何種方法製備的奈米粒子，隨著顆粒粒徑變小，粒子很容易聚集成巨大顆粒。改變粒子表面的電荷，利用同性相斥的原理使粒子不易聚集，是避免聚集的方法之一，其中調整酸鹼值是常用的方法。除了調整酸鹼值外，表面處理(改變顆粒表面官能基的特性)或添加分散劑、乳化劑形成立體障礙，都有助於產品儲存的穩定性。製備高濃度(5%以上)且穩定的有機奈米懸浮液，是一項值得探討的課題。



人體的口、胃、腸以「由上而下」的方法，逐步把食品微米化、奈米化與分子化。被腸道吸收的分子，經酵素合成作用成為人體所需的物質，則是一種精巧的「由下往上」的途徑。

纖維素是目前全球營養學家公認需要多攝食的成分，但它的口感很差，這是多數人不喜歡吃的原因。把纖維素研磨成奈米／次微米的等級後，便有非常滑順的質感，可取代重奶油蛋糕中的奶油或其他烘焙食品中的用油。

粒子大小影響口感

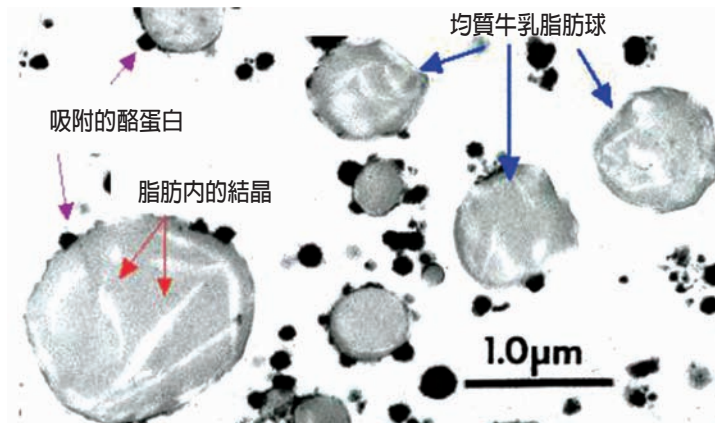
食品中的主要成分如蛋白質、澱粉、纖維等，屬於生物材料的聚合物，可說是自然界奈米技術的產物。例如牛奶是日常的食品之一，其中的酪蛋白粒子大小約為100奈米，顯示我們日常生活中已經在攝食奈米食品粒子了。

牛奶通常需經過均質處理以維持乳化狀態，使產品較穩定。均質化是製備奈米粒子的技術之一，一般均質化所得到的粒子約為2千奈米，呈乳白色。增加處理的壓力後，稱為高壓均質，可使粒徑降為200～300奈米。再利用超乳化，產品粒徑可小於100奈米，是典型的奈米食品。若再利用膠微粒技術，產品粒子可降至5～10奈米。因此，奈米技術實際已存在於食品的加工程序中，只是過去大家並未特別強調。

食物中粒子的粒徑是影響產品口感的重要因子，例如傳統鹹鴨蛋的蛋黃部分具有特殊的沙質感，是因為有大粒子（100～150微米）存在。如果把大粒子變成奈米級的粒子，它的口感會完全改變。起司中的酪蛋白，當酸鹼值由5.5降為4.6時，其中的次膠微粒會由15奈米減小為3奈米，使質地更加細緻，西方國家利用這種變化發展出多種新的起司產品。

奈米粒子的安全性

保健食品是目前食品市場的重要趨勢之一，但許多活性成分萃取不易、溶解性低，在人體內的吸收也不甚理想。由於奈米結構材料具有非常高的比表面積，分布於材料表面具較高表面能的原子比率，會隨著物質粒子粒徑的縮小而大幅增加，使奈米食品材料的吸收率提高，有助於嬰兒、老人或消化系統不良者攝取必需的營養。如果

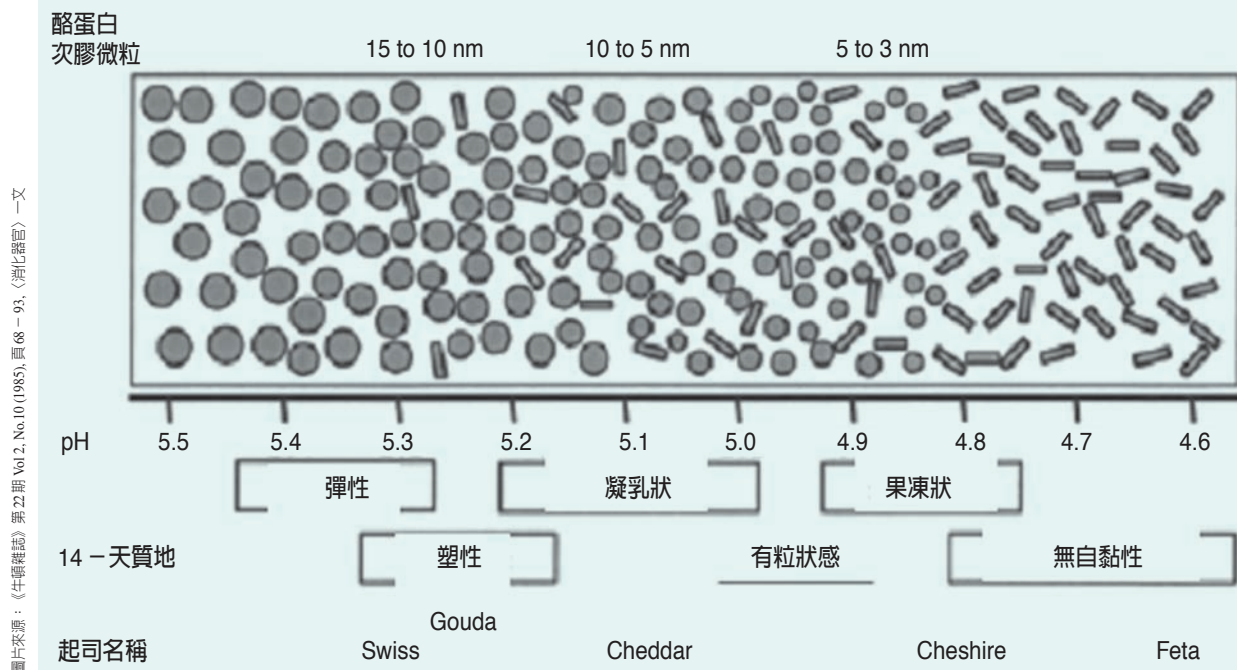


牛奶通常需經過均質處理以維持牛奶的乳化狀態，使產品較穩定。



石璽園 攝

酪蛋白次膠微粒與起司質地示意圖



圖片來源：《牛欄雜誌》第 22 期, No. 10 (1985), 頁 68 - 93, 〈消化器室〉一文

利用奈米技術進一步把生物活性成分包覆在奈米粒子中，成為奈米微粒或奈米膠囊，增加生物活性成分的穩定性、吸收率與目標導向釋出功能，將可應用於中草藥與保健食品上。

為達到這些長遠的目標，食品材料的奈米化技術與對產品性質的了解都是重要的課題。例如黃豆中的異黃酮已證實具有減少心臟性疾病罹患率的功效，但也不易被人體吸收，把它奈米化後是否可促進人體的吸收與利用，是當前值得研究的課題。

此外，奈米生物材料的安全性是許多人關心的議題。奈米粉末由於粒子小，會飛揚在空氣中成為塵埃的一部分，可能對呼吸系統產生潛在性的危害。奈米粒子如存在於液體中成為懸浮液，應不會造成危險性，但仍須確實了解奈米生物材料的安全性與生物可利用性。另外，奈米粒子或許具有一些尚未了解的生理活性，有待進一步深入探討。

葉安義

台灣大學食品科技研究所

深度閱讀資料

1. Janes, K. A., Calvo, P., and Alonso, M. J. (2001) Polysaccharide colloidal particles as delivery systems for macromolecules. *Adv. Drug Del. Rev.*, **47** (1), 83-97.
2. Lawrence, R. C., Creamer, L. K., and Gilles, J. (1987) Texture development during cheese ripening. *J. Dairy Sci.*, **70** (8), 1748-1760.
3. López-León, T. Carvalho, E. L. S., Seijo, B., Ortega-Vinuesa, J. L., and Bastos-González, D. (2005) Physicochemical characterization of chitosan nanoparticles: electrokinetic and stability behavior. *J. Colloid Interface Sci.*, **283** (2), 344-351.
4. Moraru, C. I., Panchapakesan, C. P., Huang, Q., Takhistov P. Liu, S. and Kokini, J. L. (2003) Nanotechnology: a new frontier in food science. *Food Technology*, **57** (12), 24-29.
5. Sanguansri, P. and Augustin, M. A. (2006) Nanoscale materials development-a food industry perspective. *Trends in Food Science & Technology*, **17** (10), 547-556.