

奈米科技與食品

文・圖／葉安義

奈米科技已成為世界科技的潮流與新經濟的希望，1990年第一屆國際奈米科學技術會議在美國舉辦，宣告奈米科學技術的誕生，也奠定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估計，2015年奈米科技的總產值將達一兆美元，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，將近2億美元，亞洲以日本最多（6億5千萬美元），中國大陸居次（2億美元），臺灣與韓國並列第三（1億5千萬美元）。一奈米（nanometer, nm）為 10^{-9} 米，相當於4個原子直徑的大小，人體中的蛋白質約在1~20 nm之間。若以頭髮為度量單位，其直徑的千分之一約為10 nm。奈米尺寸的物質介於原子、分子之量子效應與一般宏觀物質間，常

會產生新的特性與現象，蓮花的出污泥而不染，就是大自然運用奈米科技的典型例子，其表面有許多微米級的突起（圖1），突起上布滿奈米級的親油性絨毛，故水滴滴落會滾動而不沾附，並將塵埃帶走，造就蓮花的特性。應用此概念發展出特殊的表面處理技術，可應用於包裝、廚浴設備、化妝品、家俱、家電等，與生活息息相關。

根據美國國家奈米技術創新中心（National Nanotechnology Initiative）之定義，奈米科技有3項：（1）物件或結構尺寸範圍介於1至100 nm間之研究；（2）因尺寸達到奈米等級，可衍生出物理、化學和生物等特性之改進技術；（3）工作或操作的對象為分子等級的物件（<http://www.nano.gov>）。一般而言，只要尺寸在1至100 nm之間，其

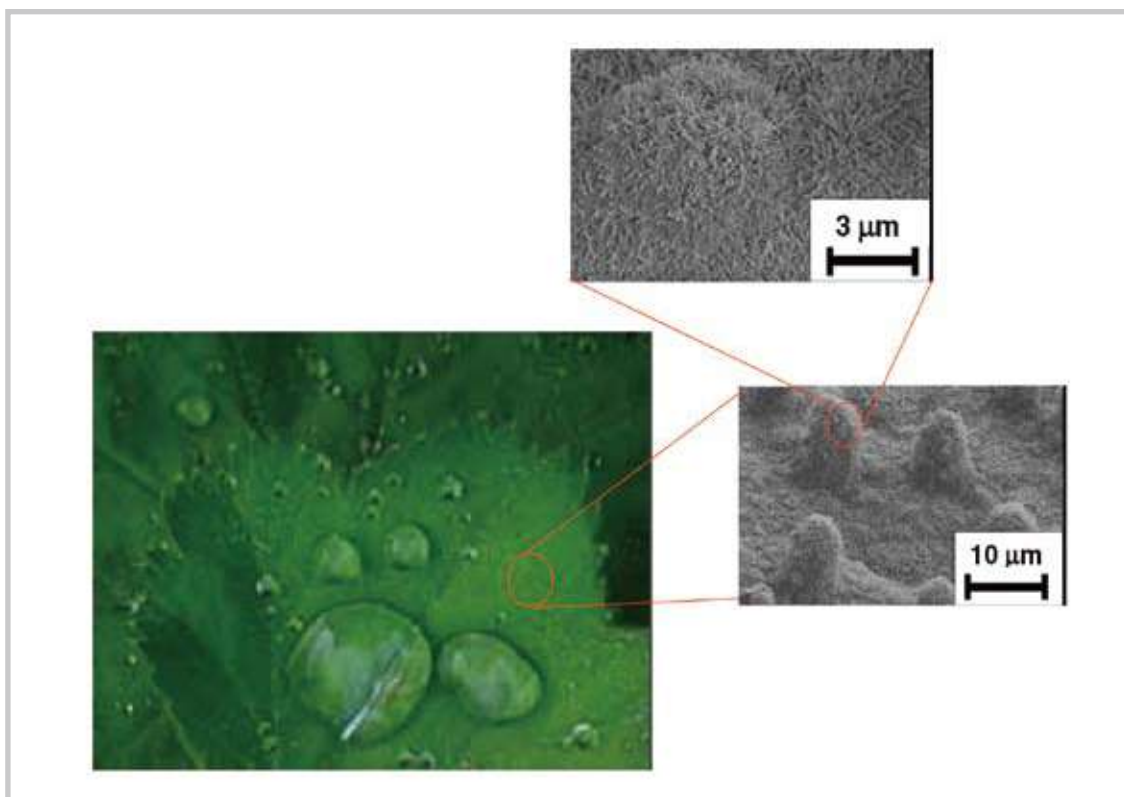


圖1：蓮花葉表面結構（取材自Cheng et al., 2006, *Nanotechnology* 17:1359-1362; Zyga, Lisa February 17, 2006, PhysOrg.com, Accessed on Dec. 7, 2006）。



研究發展～奈米材料

物化性質研究和材料之製造、操作，以及相關量測技術、儀器研發等，都可稱之為奈米科學和技術。介於100~1,000 nm之間的粒子，屬於次微米。

奈米食品前景可期

相對於半導體奈米材料研究快速進展，食品相關研究起步較晚，2006年奈米食品的市場值為4億1千萬美元，預估2012年將增加至58億美元，而食品包裝材料的市場值則由2005年的11億增加為2010的37億美元。全球參與奈米食品相關產品開發的公司將超過400家，美國與日本居於領先，中國大陸則為後起之秀。

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系統、醫療治劑的運送方法、探測分子和細胞生物學的工具、檢測病原菌的感測元件、環保等都是奈米技術對農業和食品系統在科學及工程產生影響的領域，尤其是生物分析奈米偵測器，對於食品安全性扮演重要角色，可作為反恐破壞食品供銷系統的利器，是食品與奈米技術結合的開始。而藉由奈米技術還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型、流變性質與功能性之影響，如果在奈米材料製備與穩定化技術有突破，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Forbes/Wolfe Nanotech Report，許多食品公司包括Kraft, Nestlé, HJ Heinz, Hershey Foods, Unilever等都已進行奈米食品相關的研究，Nestlé與Unilever以改善食品質地之奈米乳化技術為主，Nestlé並研究有效傳輸營養補充劑與抗氧化劑之奈米膠囊技術；Kraft著重於聰明包裝（smart package）與過濾之奈米技術，生產

個人化產品，更聯合15家大學與國家研究機構，成立NanoteK奈米技術在食品之應用研發聯盟；Voridian與Nanocor則發展奈米複合包材，以提高材料機械性質與阻絕性；Nanocor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；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，認為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將產品商品化，例如九鼎生技研發之奈米中草藥已有商品上市，德英生技將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多以中草藥為原料從事相關研究，期能增加產品的生物可利用性。製備奈米粒子的作法

製備奈米材料的原則可分為兩種：由上而下（top-down）與由下往上（bottom-up），前者是以切割分化的方法如研磨、奈米印刷術

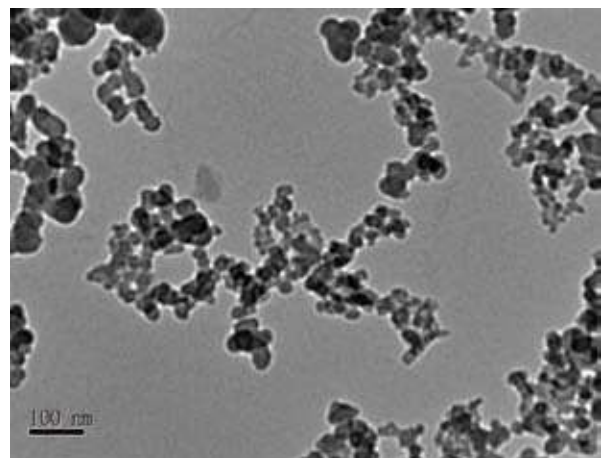


圖2：靈芝實體經介質研磨後的產品之顯微結構。

(nanolithography) 或精密工程，將一般物質切細成奈米級的結構體；後者則利用鍵結的處理，由可自組成 (self-assembly) 之個別原子或分子建構奈米結構體，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（smart coating）之研發，利用共價或離子性之交鏈方式，使幾

丁聚醴在適當條件下形成數百奈米大小之奈米粒子，作為藥物之良好載體。

由上而下的方法較容易量化，較適用於生物聚合物 (bio-polymer) 之奈米化，常用的方法有：介質研磨 (medium milling) 與高壓對撞/均質，介質研磨是利用介質（直徑為0.2~0.8 mm）以剪切、撞擊等作用，將大物質研磨成奈米粒子，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，於國科會的補助下，我們證實可以將靈芝研磨為奈米級的粒子（圖2），取代萃取的方法，靈芝多醣與幾丁質含量明顯增加，初步測試，對人體細胞無害，卻可抑制肝癌細胞的生長，目前正進一步驗證數據；纖維素是目前全球營養學家公認需多攝食的成分，但其口感很差，讓許多人畏口，我們將纖維素研磨成奈米/次微米的等級，質感極為滑順，可取代蛋糕中的奶油

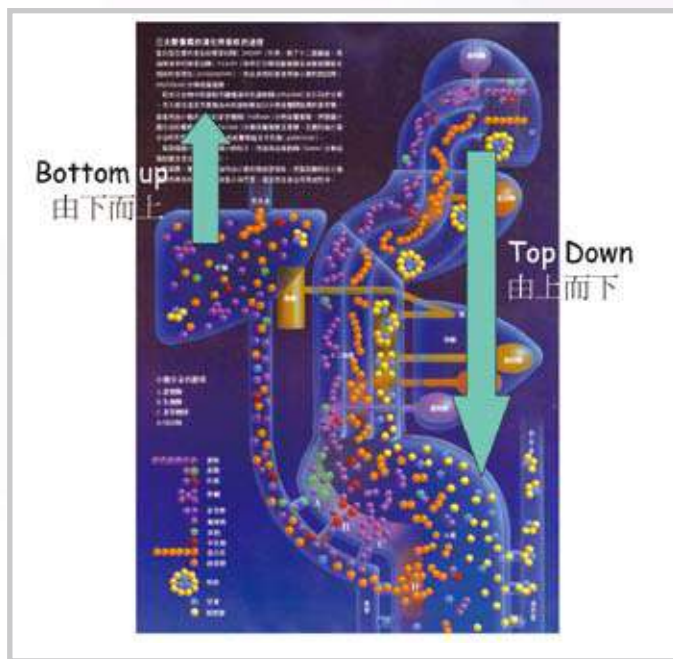


圖3：人體的消化與吸收（取材自Anonym, 1985, *Newton* 2(10):72）。

或其他烘焙食品用油，將進一步改進配方便之商品化。

高壓對撞/均質則是利用壓力於非常微細的鋼管中產生高速流動，使得粒子於高速撞擊後產生破裂，達到粉碎，固體物質易造成管路堵塞，較適用於液體。反觀人體對食物的作用，進入口中的食物為介於公分的尺度，經咀嚼降為公釐（毫公分）的尺度後吞入肚中，經過胃酸作用

成為糜狀，再進入腸中，經酵素消化，最後成為分子層級，才能被人體吸收，不被消化的成分，將被排出體外，所以人體的口、胃、腸以由上而下的方法，逐步地將食品微米化、奈米化、與分子化（圖3），如預先將食物奈米次微米化，將有助於消化系統不良者；被腸道吸收的分子，經酵素合成作用，成為人體所需的物質，是一種精巧的由下往上之途徑，目前的技術均無法與之比擬。

奈米食品已無處不在

不論以何種方法製備的奈米粒子，隨著顆粒粒徑變小，接觸面積增加，造成凡得瓦爾力（van der Waals force）與靜電引力之提高，粒子很容易聚集生成巨大分子，改變粒子表面的電荷可避免聚集，利用同性相斥的原理，使粒子不易聚集，調整pH值是常用的方法。除了調整

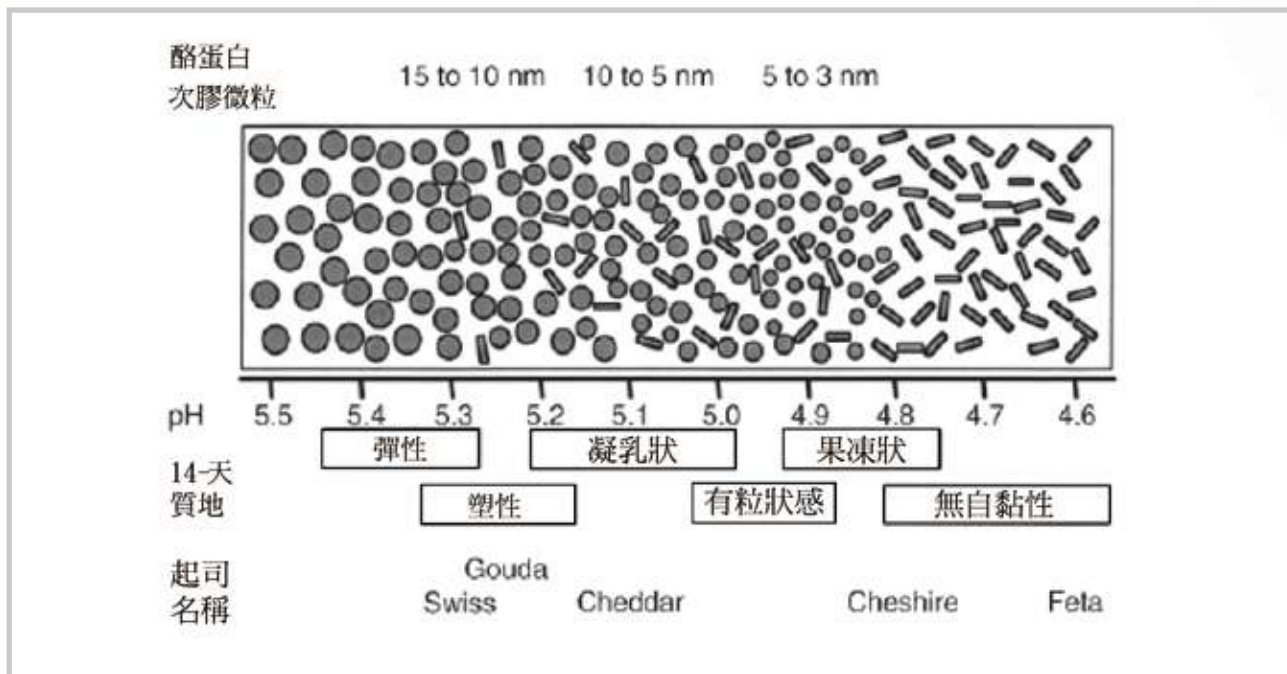


圖4：酪蛋白次膠微粒與起司質地示意圖（取材自Lawrence and others, 1987, *J. Dairy Sci* 70:1748）。

pH值外，表面處理（改變顆粒表面官能基之特性）或添加分散劑、乳化劑，形成立體障礙，皆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。

食品中的主要成分如蛋白質、澱粉和纖維等屬於生物材料之聚合物，可說是自然界的奈米技術的產物，牛奶是我們日常的食品之一，通常需經過均質處理，其目的是維持牛奶的乳化狀態，使產品較穩定，於其中的酪蛋白粒子，已接近100 nm，顯示我們於日常生活中已攝食奈米食品粒子。均質是製備奈米粒子的技術之一，一般均質所得到的粒子約為2,000 nm，呈現乳白色外觀，增加處理的壓力，成為高壓均質，使粒徑降為約200~300 nm，利用超乳化，產品粒徑小於100 nm，是典型的奈米食品，利用膠微粒技術，產品粒子可減小至5~10 nm，所以，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，傳統的鹹鴨蛋，其蛋黃部分具有特殊的沙質感，乃因為有大粒子（100~150微米）存在，將大粒子變成奈米級的粒子，其口感將完全改變。起司（cheese）中的酪蛋白，當pH值由5.5降為4.6時，其次膠微粒（submicelle）由15 nm 減少為3 nm（圖4），使質地更加細緻，西方國家藉此發展出多種起司產品。

奈米保健食品榮景可期

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，且於人體內的吸收亦不甚理想，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之原子比例將隨著物質粒子粒徑的縮小而急遽增加，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須的營養物質；利

用奈米技術，進一步將生物活性成分包覆於奈米粒子中，成為奈米微粒（nanoparticle）或奈米膠囊（nanocapsule），增加其穩定性、吸收率與目標釋出功能，可應用於中草藥與保健食品。為達到前述長遠的目標，食品材料的奈米化技術與產品性質的瞭解是一項重要的課題。例如黃豆中的異黃酮（isoflavone）已被證實具有降低心臟疾病罹患率的功效，但該物質不易為人體吸收，將其奈米化後，或可促進人體的吸收與利用，值得研究。另外，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，會飛揚於空氣中

成為塵埃的一部分，可能對呼吸系統具有潛在性危害；奈米粒子如存在於液體中成為懸浮液，應不致造成危險，但仍須確實瞭解奈米生物材料的安全性與生物可利用性（bio-availability），除此外，奈米粒子或許具有一些尚未被瞭解的生理活性，也是值得探討的課題。（整理自作者文章〈奈米科技與食品〉，刊於《科學發展》2007年10月，418期，p. 42-47）（本專題共同策畫：材料系莊東漢教授&植微系林長平教授&本刊總編輯江清泉教授）

深度閱讀資料：

- [1] Janes K.A., Calvo, P., Alonso, M.J., 2001. Polysaccharide colloidal particles as delivery systems for macromolecules. *Adv Drug Del Rev* 47: 83-97.
- [2] Lawrence, R. C., Creamer, L. K., and Gilles, J. 1987. Texture development during cheese ripening. *J. Dairy Sci* 70:1748-1760.
- [3] Lopez-Len, T., Carvalho, E.L.S., Seijo, B., Ortega-Vinuesa, J.L., Bastos-Gonzalez, D. 2005. Physicochemical characterization of chitosan nanoparticles: electrokinetic and stability behavior. *J Colloid Interface Sci.* 283: 344-351.
- [4] Moraru, C.I., Panchapakesan, C.P., Huang, Q., Takhistov P, Liu S and Kokini JL. 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*. 17:547-556.



葉安義小檔案

現職：臺灣大學食品科技研究所教授兼所長（2006/08至今）
學歷：美國蒙大那州立大學化學工程系博士（1983/08-1986/06）
美國蒙大那州立大學化學工程系碩士（1981/09-1983/07）
中興大學食品科學系學士（1973/09-1977/06）
經歷：臺灣大學食品科技研究所教授（1992/08至今）
美國羅格斯大學食品科學系訪問教授（1994/06-1994/09）
臺灣大學食品科技研究所副教授（1987/08-1992/07）
美國羅格斯大學生化及化學工程系博士後研究員（1986/08-1987/08）
統一企業公司研究部研究員（1980/11-1981/09）
協泰化工及澱粉公司業務課銷售工程師（1979/06-1980/10）
專長：奈米食品材料、食品科技、食品工程、食品及營養