

以微生物生產果寡糖及其保健功能

黃美瑩、黃詩涵、林金榮

水產試驗所水產養殖組

果寡糖之化學結構

果寡糖 (Fructooligosaccharide 簡稱 FOS)，又名低聚果糖，是寡糖中的一類，少量存在於自然界的植物中，如大麥、洋蔥、蕃茄等食物中的含量均低於 1% (Sangeetha et al., 2005)。果寡糖由蔗糖分子與一至多個果糖分子結合而成，其果糖及葡萄糖以 β -(2 $\rightarrow$ 1) 或 β -(2 $\rightarrow$ 6) 鍵結組成，以 GF_n , $n = 2-10$ 表示。

以微生物生產果寡糖

生產果寡糖主要有三種方式：(1)自根莖類植物中抽取；(2)以酵素自多醣類水解；(3)以酵素自蔗糖合成 (Roberfroid and Slavin, 2000)。目前商業生產果寡糖大都以具有果糖基轉移酶 (Fructosyltransferases, FTFs; EC. 2. 4. 1. 9) 的微生物自蔗糖合成果寡糖 (Sangeetha et al., 2005)。果寡糖基轉移酶又依所產生之果寡糖為 levan [β -(2 $\rightarrow$ 6)鍵結] 或 inulin [β -(2 $\rightarrow$ 1) 鍵結]型態，細分為 levansucrase (EC. 2. 4. 1. 10) 或 inulinsucrase (EC. 2. 4. 1. 9)。

目前為止，具有果糖基轉移酶的微生物約有 46 種，包括：*Aspergillus japonicus*, *A. niger*, *A. oryzae*, *A. phoenicis*, *A. sydowi*, *Aureobasidium pullulans*, *Bacillus subtilis*, *Erwinia herbicola*, *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Microbacterium laevaniformans*,

Pseudomonas syringae pv. *glycinea*, *P. syringae* pv. *phaseolicola*, *Lactobacillus reuteri*, *L. sanfranciscensis* 等 (Yun, 1996; Sangeetha et al., 2005)，已有報告探討微生物果糖基轉移酶之特性及功能等 (Sangeetha et al., 2005)。

由於每種微生物之果糖基轉移酶所產生的果寡糖成分及比例都不太一樣 (Yun, 1996; Sangeetha et al., 2005)，因此研究人員嘗試自大自然中陸續分離具有該類酵素之微生物。最近，本所水產養殖組自海水魚養殖池中分離出具有該酵素之微生物 — *Bacillus licheniformis* FRI-MY55，目前正進行該酵素之分離純化，作為該酵素應用之參考。

早在 1984 年，日本的 Meiji Seika 公司就已經以 *A. niger* 生產的果糖基轉移酶，製造果寡糖；而目前用以生產果寡糖的微生物包括：*A. japonicus*, *A. niger*, *A. oryzae*, *Aureobasidium pullulans* 等 (Yun, 1996)。最近有些乳酸菌也被發現含有這類酵素，由於果寡糖具有相當多的保健功能，因此有研究探討食品中直接添加該類乳酸菌，以增進保健特性之可行性 (Tieking et al., 2005)。

微生物的果糖基轉移酶之特性

一、果糖基轉移酶作用機制

果糖基轉移酶催化蔗糖末端的果糖基轉

移至另一個蔗糖分子上，產生蔗果三糖 (kestose; GF₂)，而蔗果三糖被果糖基轉移酶催化，形成蔗果四糖 (nystose; GF₃) 或蔗果五糖 (fructofuranosyl nystose; GF₄)，或從蔗果三糖末端轉移果糖基至另一個聚果糖分子上，產生聚合度 (DP, degree of polymerization) 大於 3 的果聚糖 (levan)。

二、微生物生長與果糖基轉移酶之生產

Yun (1996) 研究發現 *Aureobasidium pullulans* 培養於蔗糖溶液 (200 g/l) 中 6 小時後，就有 55% 的果寡糖累積在培養液中；*Bacillus macerans* EG-6 則在培養 12 小時後，才有大量的果寡糖基轉移酶產生，之後在 30 小時左右就很快衰減 (Park et al., 2001)。

三、果糖基轉移酶反應之最適溫度及 pH 值

純化自 *Aspergillus niger* AS0023 之果糖基轉移酶作用的最適溫度及 pH 值分別為 50°C 及 pH 5.8 (L'Hocine et al., 2000)。*Aspergillus foetidus* NRRL 337 則是 60°C 及 pH 4.0 – 6.0 (Wang and Rakshit, 2000)。*Bacillus macerans* EG-6 的果糖基轉移酶則是在 50°C 活性最強。來自 *Microbacterium laevaniformans* ATCC 15953 的果糖基轉移酶最適作用溫度為 30°C，pH 值為 6.0 (Park et al., 2003)。*Aspergillus oryzae* CFR 202 則為 60°C、pH 6.0 (Sangeetha et al., 2004)。

四、蔗糖濃度對於果糖基轉移酶活性之影響

果糖基轉移酶受蔗糖濃度影響很大 (L'Hocine et al., 2000; Tieking and Gänzle, 2005)，分離自 *Aspergillus niger* AS0023 果糖基轉移酶，於蔗糖濃度達到 50% 時之活性最

強 (L'Hocine et al., 2000)。分離自 *Lactobacillus sanfranciscensis* 的果糖基轉移酶，其反應產物-果聚糖之生成量隨著蔗糖濃度上升而增加，而 1-kestose 在 50 g/l 的蔗糖濃度時，生成量最多 (Tieking and Gänzle, 2005)。

果寡糖之保健功能

果寡糖是一種低熱量的天然水溶性植物纖維，具有低甜度、低黏度、保濕性等特性，所以廣泛應用於各類保健品、飲品、乳製品、糖果和麵食等 (Izzo and Ninness, 2001)。果寡糖在人類的小腸中難以消化及吸收，在大腸中會全部或部分發酵分解，轉換成短鏈脂肪酸以及乳酸，並具有促進體內雙歧桿菌 (*Bifidobacterium*) 增生、提高身體免疫能力、促進身體對鈣、鐵、鋅等礦物質元素的吸收、促進通便、減少腸道毒素的吸收、降低血液膽固醇及降低血糖等有益健康的生理效果 (Roberfroid, 2000)，其功能如下：

一、調整腸道菌叢生態

果寡糖可作為體內比菲德氏菌 (*Bifidus*) 等益生菌 (Probiotic) 生長繁殖的養分，可使腸內益菌生長良好 (Durieux et al., 2001)。同時果寡糖所產生的酸性物質可降低腸道 pH 值，抑制有害菌種如沙門氏菌 (*salmonella*)，這些有害菌多半無法利用果寡糖，因此果寡糖可以促成腸道菌叢生態健全 (Cherbut, 2002)，增加營養的吸收效率，並減少腸道有害毒素的產出，而延緩老化、維持免疫機能、減少腸道生長惡性腫瘤的危險。此外，果寡糖調節畜禽腸道微生態菌群，可減少家禽感

染沙門氏菌的比率 (Letllier et al., 2000)。

而近年來，益生菌中的乳酸菌使用在水產養殖的研究也顯示，乳酸菌可提升比目魚仔魚的存活率 (Gatesoue, 1991)、增進比目魚及虹鱔的免疫能力 (Lara-Flores et al., 2003; Villamil et al., 2003)、抑制魚類腸道中的病原菌：*Aeromonas hydrophila*、*A. salmonicida* 及 *Vibrio anguillarum* 等 (Bergh, 1995; Santos et al., 1996)。因為果寡糖可促進乳酸菌等在動物腸道繁生，進而抑制有害細菌，因此，果寡糖推測也可用在調整魚類腸道之菌相、增加菌叢生態平衡、降低不良細菌數量等，進而提升魚類養殖成效。

二、屬於水溶性膳食纖維

可刺激腸道蠕動、增加糞便濕潤度並保持一定的滲透壓，而防止便秘的產生，也可以增強小腸的黏膜保護作用，且減少罹患食道疾病的風險 (Cherbut, 2002)。

三、增加礦物質的吸收率

膳食纖維的缺點是抑制礦物質的吸收，但果寡糖卻可促進礦物質的吸收。因為果寡糖經腸道細菌發酵後，形成利於鈣、鎂、鋅、鐵等礦物質吸收的腸道環境 (Gudieal-Urabano and Goni, 2002)。

四、控制血脂肪

和膳食纖維一樣，果寡糖也有助於血膽固醇的控制，其生理機制與膳食纖維類似，也是能與膽酸及膽鹽結合而將其排除於體外，防止再吸收，體內就會促進膽固醇在肝臟進行氧化作用產生膽酸，降低血膽固醇濃度。在下降的總膽固醇中，又以俗稱壞的膽固醇-低密度脂蛋白下降的速率最為明顯，至於俗稱好的膽固醇的高密度脂蛋白及三酸甘

油酯（又稱中性脂肪）則比較不受影響 (Williams and Jackson, 2002)。

五、抗癌效果

研究顯示果寡糖能預防並減少結腸癌 (Pool-Zobel et al., 2002)，且能提高殺手細胞、吞噬細胞的活動及 T 淋巴細胞的作用 (Buddington et al., 2002)。據報導，飲食治療中添加果寡糖，可增加癌症細胞毒素藥物治療的功效 (Taper and Roberfroid, 2002)。

六、控制糖尿病

研究指出，每日攝取 20 g 的果寡糖能降低血糖 (Luo et al., 2000)，且果寡糖對於非胰島素依賴型的糖尿病患者有較好的效果 (Kaufhold et al., 2000)。

七、有甜味卻沒有精緻糖的害處

果寡糖的甜度約為蔗糖的三分之一，口感與蔗糖近似，但不像蔗糖一般會被口腔中的細菌利用，產生酸性物質侵蝕牙齒，因此不會造成蛀牙。果寡糖的熱量只有蔗糖的 34%，添加在食物時，不但熱量較低也有較好的口感 (Izzo and Niness, 2001)，因此也被當成低熱量或糖尿病人的甜味劑使用。

結語

果寡糖是由蔗糖分子與一至多個果糖分子結合而成，目前商業生產大都以具有果糖基轉移酶的微生物自蔗糖合成果寡糖。這是一種低熱量、低甜度的天然水溶性植物纖維，所以廣泛應用於各類食品。至於果寡糖是否也可用來調整魚類腸道之菌相、增加菌叢生態平衡，進而提升魚類養殖成效，是另一項值得進一步探討的議題。