

如上所述，海膽可經由生物轉換功能將 β -胡蘿蔔素轉變成 β -海膽烯酮，而食物是海膽攝取類胡蘿蔔素的唯一來源。Muki Shpigel 等 (2006) 在配方飼料中個別或混合添加全反式 β -胡蘿蔔素 (人工合成)、蝦紅素、辣椒紅素、玉米黃質及葉黃素等類胡蘿蔔素與巴氏杜氏藻 (*Dunaliella bardawil*) 藻粉，投餵紫海膽 (*Paracentrotus lividus*)。結果顯示，在這些類胡蘿蔔素中，以天然的巴氏杜氏藻粉所含的 β -胡蘿蔔素 (順式與反式各半) 對海膽生殖腺顏色的呈現最佳，其次為人工合成的全反式 β -胡蘿蔔素，至於蝦紅素、玉米黃質與葉黃素對 β -海膽烯酮的生物轉換量並無提升效果，無法有效改善生殖腺色澤。故若欲以飼料添加類胡蘿蔔素的方式改善海膽生殖腺顏色，可優先選擇 β -胡蘿蔔素異構體，方可增加腸道及生殖腺 β -海膽烯酮含量。

如何採收符合期待的生殖腺是海膽產業的重要考驗，海膽的類胡蘿蔔素主要儲存於生殖腺中，亦存在海膽的外殼與棘刺中，且生長在相同環境下的海膽，其生殖腺與棘刺所含的類胡蘿蔔素具有高度相似性 (Matsuno & Tsushima, 2001)。Mos 與 Dworjanyn (2019) 以白棘三列海膽 (*Tripneustes gratilla*) 的棘刺與生殖腺的顏色進行 RGB 分析，實驗結果顯示，脊柱顏色強度與性腺的顏色和大小之間存在顯著正相關，當海膽棘刺的橙色或紅色度越高，可得到橙色色澤越深及品質越好的生殖腺 (圖 1)，故可將棘刺色澤的變化做為海膽肥滿及品質的參考指標，但欲應用於商業模式仍需進一步的探討與開發。

類胡蘿蔔素缺乏對海膽的影響



圖 1 海膽棘刺 (左) 與生殖腺 (右) 顏色的相關性 (Mos & Dworjanyn, 2019)

研究指出，類胡蘿蔔素在調節哺乳類動物的生物防禦具有特定作用，但在無脊椎動物中則沒有相關研究。Kawakami 等 (1998) 發現以不含類胡蘿蔔素的人工飼料餵食海膽，會導致其棘刺掉落，且死亡率高達 30%。反之，在人工飼料中添加類胡蘿蔔，則可提升海膽的吞噬細胞作用，達到生物防禦功能。主要是因為吞噬細胞吞噬異物時會產生活性氧，而這些活性氧雖可幫助對抗病菌，但對本身的 DNA 及細胞膜亦具有傷害性，而類胡蘿蔔素可保護吞噬細胞，避免其受到單態氧或活性氧的自氧化傷害 (Anderson & Theron, 1990)，達到生物防禦的作用。

結語

綜上可知，類胡蘿蔔素無論對海膽生殖腺顏色改善與生物性防禦作用都具有相當的成效。生活於自然環境下的海膽，可從藻類中攝取各式類胡蘿蔔素，但人工養殖者，若能在人工飼料中添加適種、適量的類胡蘿蔔素，當更有助於培育出品質優良的海膽。