



類胡蘿蔔素在水產養殖之應用

劉于溶¹、廖文亮²

¹水產試驗所淡水繁養殖研究中心、²臺灣大學漁業科學研究所

前言

水產動物在人工養殖環境下，往往因缺乏適當或足夠的類胡蘿蔔素來源，造成呈色不如野生的色彩鮮豔。魚體的呈色是直接影響市場價值的一項重要指標，尤其是鮭鱒魚類的肉色及觀賞魚的呈色直接影響消費者選購的意願（圖 1），因此有必要在飼料中添加

類胡蘿蔔素來提升水生動物的色澤與價值。目前在鮭魚養殖已廣泛在飼料中添加類胡蘿蔔素來提升肉色（圖 2），其花費約佔飼料總成本的 10—15%，是飼料成分中最昂貴的部分（Buttle et al., 2001）。由於在飼料中添加類胡蘿蔔素會造成養殖成本負擔，而各個物種蓄積、轉換類胡蘿蔔素的能力又不盡相同，因此在添加種類的選擇與劑量，都是相當值得研究的問題。

類胡蘿蔔素的來源

類胡蘿蔔素廣泛存在自然界中，目前被發現的數量已多達 750 種以上，可由植物、藻類或微生物合成。雖然部分動物身上也存在類胡蘿蔔素，但因為無法自身合成，僅能由食物中攝取或是經代謝轉換攝取到類胡蘿蔔素（Goodwin, 1986）。類胡蘿蔔素依結構大致可分成二大類，一為結構中不含氧，僅由碳和氫元素所構成的胡蘿蔔素（carotene），例如： β -胡蘿蔔素（ β -carotene）、蕃茄紅素（lycopene）、角黃素（canthaxanthin）；另一類為結構中含氧元素的葉黃素（xanthophylls），例如：玉米黃素（zeaxanthin）、蝦紅素（astaxanthin）（圖 3）。由於類胡蘿蔔素含有多個共軛雙鍵結構，容易吸收波長 400—500 nm



圖 1 觀賞魚與食用魚蝦之色澤皆影響市場價值



圖 2 目前人工養殖鮭魚已普遍在飼料中添加類胡蘿蔔素來使魚肉呈現鮮豔的橘紅色澤

的光，因而呈現出各種黃色、橙色或紅色，也因為其結構穩定性不高，容易受到氧、光、熱和酸的影響產生異構化的現象。

早在 1966 年就有將辣椒萃取之辣椒紅素 (capsanthin)、小龍蝦 (crawfish) 的萃取物與金盞花的花瓣，添加在養殖虹鱒 (*Oncorhynchus mykiss*) 飼料的研究 (Peterson et al., 1966)。水產養殖飼料中所添加的色素來源，主要生產自藻類、微生物、甲殼類、植物與人工合成之色素。常應用的藻類有螺旋藻 (*Spirulina*) (Liao et al., 1993)、雨生紅球藻 (*Haematococcus pluvialis*) (Pan and Chien, 2009; Tejera et al., 2007) 與杜莎藻 (*Dunaleilla*) (Amar et al., 2004)。在微生物方面常使用紅酵母 (*Phaffia rhodozyma*) (Amar

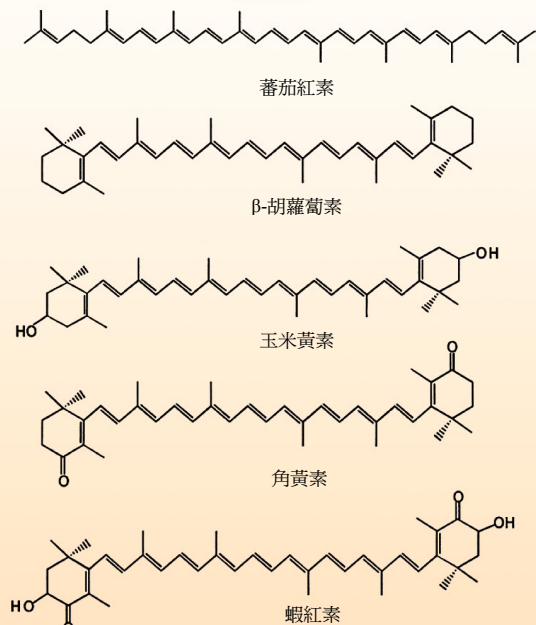


圖 3 常見的類胡蘿蔔素結構式 (圖片來源: Ulrich et al., 1994)

et al., 2004; Liao et al., 1993; Storebakkena et al., 2004) 與酵母菌 (*Xanthophyllomyces dendrorhous*) (Johnson et al., 1977) 生產類胡蘿蔔素。近來亦有研究使用基因轉殖之大腸桿菌生產的類胡蘿蔔素來促進紅色吳郭魚的增色 (黃, 2009)。此外, 甲殼類的副產品也被運用, 如磷蝦油 (Liao et al., 1993)、南極蝦粉 (krill meal) (Mori et al., 1989; 曾, 2004)、蝦殼粉 (Satio & Regier, 1971; Kalinowski et al., 2007; Kalinowski et al., 2005)、蟹殼粉 (Garcia et al., 2010)、螯蝦萃取油 (Peterson et al., 1966)、紅蟹的殼和萃取油 (Spinelli et al., 1974; Spinelli and Mahnken, 1978), 植物方面的來源, 則有使用金盞花 (Marigold flower)、辣椒萃取之辣椒紅素 (Peterson et al., 1966)、紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) (Yanar et al., 2008) 等。亦有直接使用人工合成的色素 (Booth et al., 2004; Chatzifotis et al., 2005; Doolan et al., 2008), 例如挪威的大西洋鮭魚養殖過程中常使用合成蝦紅素與角黃素 (Bjerkeng et al., 1992; Bell et al., 1998; Akhtar et al., 1999; Buttle et al., 2001)。

類胡蘿蔔素的蓄積與代謝模式

類胡蘿蔔素能與脂質、蛋白質結合或以單獨游離的型式存在於生物體中。如表皮中的類胡蘿蔔素常以酯化的型式存在。此外, 類胡蘿蔔素也可能與蛋白質結合成類胡蘿蔔素蛋白 (carotenoproteins)。甲殼類生物體內的蝦紅素常與外骨骼中的蛋白質結合形成類胡蘿蔔素蛋白, 因結合的蛋白質不同, 使甲殼類呈現紫色、藍色甚至綠色等不同的色彩

(Zagalsky et al., 1970), 而經過加熱處理使類胡蘿蔔素結合蛋白變性後, 甲殼類又會顯現出蝦紅素原始的紅色 (Cianci et al., 2002)。至於出現在卵中的類胡蘿蔔素, 一般則以游離態的方式聚集後, 與脂質結合來增加穩定性 (Parker, 1996)。

水生動物外表的呈色除了和攝入的類胡蘿蔔素種類有關之外, 也可能經由自身的醣素系統轉換代謝成其它種類, 亦因各物種轉換吸收蓄積色素的能力不盡相同, 因此呈色結果也有所差異。其中蝦紅素為多數水生動物蓄積的類胡蘿蔔素, 代謝模式主要分為以下三種型式 (Simpson and Kamata, 1979):

一、紅鯉型 (Red carp type)

可以利用葉黃素 (xanthophylls)、玉米黃素或中間的代謝物轉換成蝦紅素, 大部分的淡水魚屬於此類型。例如錦鯉 (*Cyprinus carpio*)、金魚 (*Carassius auratus*)。

二、鯛魚型 (Sea bream type)

不能由其它的類胡蘿蔔素轉換成蝦紅素, 但可以直接吸收蝦紅素蓄積在體內, 大部分的海水魚及鮭鱒魚類屬於此類型。例如嘉鱚、鮭魚、鱒魚。

三、蝦型 (Prawn type)

可以利用 β -胡蘿蔔素、玉米黃素或中間的代謝物轉換成蝦紅素, 大部分的甲殼類屬於此類型。

魚體呈色與增豔研究

魚的體色因應不同的生長階段與環境改變, 受到多重因子影響, 如色素細胞 (chromatophore) 的型態、數量及環境的變

化。位於真皮層中的三種色素細胞是構成體色的基本單元：第一種為黃色素細胞 (xanthophores)，包含蝶啶 (pteridine)、類胡蘿蔔素 (carotenoid) 色素；第二種為黑色素細胞 (melanophores)，包含黑色素 (melanin)；第三種為彩虹色素細胞 (iridophore)，藉由結構變化來影響體色。其中類胡蘿蔔素與黑色素，是魚體呈色中比較常被研究的二種色素，而魚體呈現的各種紅色、橙色與黃色色澤，即是受黃色素細胞結合的類胡蘿蔔素種類與數量所影響 (Price et al., 2008)。

由於各物種蓄積利用與代謝類胡蘿蔔素的能力有所差異，有相當多的研究探討如何提升魚隻的色素蓄積效果，其中最早也最廣泛應用的是鮭鱒魚類的魚肉增色，期望能呈現賣相較佳的橘紅色。目前為使大西洋鮭魚獲得較佳的呈色，一般會在飼料中添加 30—60 mg/kg 的合成蝦紅素。此外，也有許多研究探討養殖嘉鱾具有體色較黑且不如野生魚外表呈漂亮的粉紅色等問題 (Booth et al., 2004; Chatzifotis et al., 2005; Doolan et al., 2008; Kalinowski et al., 2007; Kalinowski et al., 2005; Tejera et al., 2007)。近年來亦有愈來愈多的研究朝向觀賞魚的增色，包括孔雀魚 (*Poecilia reticulata*) (Karino and Haijima, 2004)，金魚 (Xu, 2006; Yanar et al., 2008)、鬥魚 (*Betta splendens*) (Clotfelter et al., 2007)、馬魮脂鯉 (*Hyphessobrycon callistus*) (Wang et al., 2006)、眼斑海葵魚 (*Amphiprion ocellaris*) (Yasir and Qin, 2010)、紅魔鬼 (*Cichlasoma citrinellum*) Pan and Chien, 2009)、金波羅 (*C. severum*) (Kop and Durmaz, 2008) 等。除了魚類之外，尚有研究

致力於蝦類 (Boonyaratpalin et al., 2001; Liao et al., 1993; Paibulkichakul et al., 2008) 以及海膽 (*Psammechinus miliaris*) 生殖腺的增色 (McBride et al., 2004; Shpigel et al., 2006; Suckling et al., 2011)。

為求有效的達到增豔效果，在赤鯛 (*Pagrus pagrus*) 的研究中，建議以蝦殼粉作為色素來源時，蝦紅素的最適添加量為每公斤飼料添加 40 mg (Kalinowski et al., 2005)。Kalinowski 等 (2007) 指出，赤鯛在上市前 120—180 天，以蝦殼粉作為蝦紅素來源時，每公斤飼料以 21 mg 的蝦紅素為最適添加量。Doolan 等 (2008) 則建議，在嘉鱾飼料中，蝦紅素的最適添加量為 30 mg/kg。黃 (2009) 則建議每公斤的紅色吳郭魚飼料中可添加 50 mg 的蝦紅素。此外，色素在觀賞魚的添加量，亦依魚種不同而有所差異，在馬魮脂鯉的研究建議每公斤飼料添加 40 mg 的類胡蘿蔔素 (Wang et al., 2006)。而在金魚的研究指出，以紫花苜蓿做為類胡蘿蔔素來源，其最適添加量為每公斤飼料添加 100 mg (Yanar et al., 2008)。另外，在紅魔鬼則建議每公斤飼料添加 160 mg 的蝦紅素增色為佳 (Pan and Chien, 2009)。目前為提升魚隻體色，在鮭鱒魚與觀賞魚的飼料中，一般會在每公斤飼料添加 100 mg 以內的類胡蘿蔔素。

類胡蘿蔔素之生理功能

除了增豔效果，隨著類胡蘿蔔有愈來愈多的生理功能被發現，近來也逐漸有研究開始探討類胡蘿蔔素對於水生生物更多面向的影響，包括維他命 A 轉換能力、免疫能力、

抗氧化能力與抗緊迫能力等。

Hu (2006) 等指出，吳郭魚 (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) 具有將 β -胡蘿蔔素轉換成維生素 A 的能力，其轉換率約為 19:1。蝦紅素含量較高之鮭魚，有較佳的免疫力，推論因蝦紅素可轉變為 β -胡蘿蔔素再轉變為維生素 A 使細胞膜韌性增強所致 (Bauernfeind et al., 1981)。另外，分別在鬥魚的藍、紅二個品系的研究發現，紅色雄魚藉由類胡蘿蔔素來增強體表紅色程度，以吸引雌魚，增加繁殖的機會；而藍色雄魚所含的類胡蘿蔔含量，則與免疫能力呈相關性 (Clotfelter et al., 2007)。在孔雀魚的研究也指出，雄魚攝食較多的類胡蘿蔔素，會提升身上橘點的鮮豔度，並增加吸引雌魚的配種機會 (Kodricbrown, 1989)，體色鮮豔的雄魚並具有較佳的免疫能力來抵抗外部的寄生蟲 (Kolluru et al., 2006)，然而剛治癒完寄生蟲疾病的孔雀魚，身上橘點的鮮豔度會下降，也削弱了吸引雌魚的配種機會 (Houde and Torio, 1992)。

在抗氧化方面，Storebakken 等 (1992) 發現，鮭鱒魚類達性成熟時，肌肉組織中的類胡蘿蔔素會經由成熟卵巢轉移至卵細胞，故推論與胚胎發育具相關性。類胡蘿蔔素具有抗氧化劑的功用，可防止有害的脂肪過氧化作用 (Liebler, 1993)，亦可避免保護敏感組織受到氧的傷害 (Tacon, 1981)。有研究指出在敏感的胚胎發育時期，需要類胡蘿蔔素的抗氧化功能，避免細胞遭受自由基的損害 (Blount et al., 2000; Surai and Speake, 1998)。由於卵中的多元不飽和脂肪容易氧化，但在胚胎發育時期的快速代謝卻會不斷的產生氧化劑，而因類胡蘿蔔素具有能夠降低氧化壓

力的功能，故在胚胎發育顯得相當重要 (Miki, 1991)。在日本對蝦 (*Penaeus japonicus*) 的研究中則發現，幼蝦餵飼蝦紅素後，抗氧化指標中的超氧歧化酶 (superoxide dismutase, SOD) 與天門冬胺酸轉胺酶 (aspartate aminotransferase, ASAT) 皆有下降現象 (Chien et al., 2003)。類似的現象也出現在馬魷脂鯉，以含類胡蘿蔔素飼料飼餵後，其血清中的超氧歧化酶、麩氨基硫過氧化酶 (glutathione peroxidase, GPx)、天門冬胺酸轉胺酶、丙胺酸轉胺酶 (alanine aminotransferase, ALAT) 的活性皆有下降的情形，推論類胡蘿蔔素具有增強魚隻抗氧化的能力與保護肝臟的效果 (Wang et al., 2006)，並能降低因水中濃度過高的氮造成緊迫 (Pan et al., 2011)。綜合以上研究發現，類胡蘿蔔素不僅僅影響魚的體色，亦與許多生理層面有重要的關聯。

結語

利用在飼料中添加類胡蘿蔔素來增強養殖生物的體色，能夠提升產品的價值，目前已應用於鮭鱒魚、海水鯛類、紅色吳郭魚、蝦類與海膽等食用水產動物；此外，價值取決於體色與型態的觀賞魚蝦，對於增豔效果需求尤殷。然而類胡蘿蔔素的價格昂貴，而且各物種的代謝與利用性皆不盡相同，因此若欲同時考量增豔效果與經濟性，無論是添加的種類與劑量都有研究的必要。除此之外，類胡蘿蔔素對於養殖生物的生理層面影響，如促進生殖、抗氧化與提升免疫等方面的作用，亦值得進一步探討並於未來加以應用於養殖產業。