

# 水產飼料添加肉鹼的效果

L-carnitine

楊順德、劉富光

水產試驗所淡水繁養殖研究中心

## 前言

水產養殖使用高能量飼料是目前的趨勢，因為這類飼料被認為可促進成長、改善飼料效率、節約蛋白質及有效減少有機物與含氮物的流失，但提高飼料中非蛋白質能量的供應（特別是由脂質提供）卻經常導致魚體脂肪含量的增加（Cowey, 1993）。高能量的攝取也會影響養殖魚的品質，因為體脂肪蓄積的部位、含量與組成會影響其營養價值、肉質及貯存的安定性。所以，探討如何提高魚體對脂肪的有效利用，已成為重要的研究議題。肉鹼具有促進成長、降低魚體脂肪量等多項生理功能，有時被視為半必需營養素而添加於水產飼料。

肉鹼（L-carnitine）是小分子的四級胺化合物，其化學結構與膽鹼和甜菜鹼相似，主要的生理功能是將長鏈脂肪酸運送到粒線體內進行 $\beta$ -氧化作用（ $\beta$ -oxidation），經由促進脂肪酸氧化，減少蛋白質分解產能的比例，在增進成長的同時，亦達到節約蛋白質的效應（圖 1）。雖然肉鹼廣泛存在於各種細胞中，但動物細胞的肉鹼含量多於植物，因此動物性飼料原料的肉鹼量比植物者高出 10–20 倍，而在以大量植物性替代蛋白源取代水產飼料的魚粉或其它動物性原料的同時，飼料中的肉鹼含量亦隨之減少（Ozório,

2009）。另一方面，甲硫氨酸和離氨酸是動物體內生合成肉鹼的前趨物，因此飼料中這兩種必須胺基酸的含量會影響肉鹼的合成能力，而這兩種胺基酸卻都是植物性蛋白源的限制胺基酸，缺乏時導致動物體內肉鹼含量減少，脂肪酸的氧化作用降低而轉向三醯甘油脂的合成蓄積（Schan & Mynatt, 1993; McDowell, 1989）。

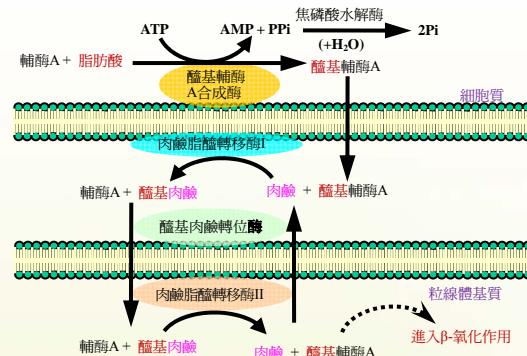


圖 1 脂肪酸與肉鹼穿梭系統(carnitine shuttle system)

## 肉鹼對水產動物的效用

肉鹼的拉丁字源為 caro 或 carnis，是肉的意思，中文俗名為肉毒鹼、肉鹼、副肉精或卡尼丁。在 1905 年，蘇聯的科學家 Gulewitsch & Krimperg 由肉汁萃取液中發現此物質，至 1927 年由 Tomita & Sendju 確立肉鹼之化學結構為  $\gamma$ -trimethylammonium-

$\beta$ -hydroxybutyrate，而 Carter et al. 於 1952 年發現肉鹼是麵包蟲 (*Tenebrio molitor*) 變態過程中必要的成長因子，因此稱之為維生素 BT；後來 Fraenkel & Friedman 在 1957 年證實此維生素 BT 即為肉鹼。在畜產動物，已知飼料中添加肉鹼可增進動物的成長效能，如賽馬、乳牛、蛋雞、肉雞及豬隻等，因為外源性肉鹼可促進脂肪酸氧化以產生足夠的能量，增加動物體對非蛋白質能量物質的使用，進而節省動物體對胺基酸的消耗 (Eder et al., 2001)。在水產動物，肉鹼與魚類代謝關係的研究始於 1970 年，Bilinski & Jonas (1970) 發現虹鱈肌肉細胞給予肉鹼，可促進粒線體對長鏈脂肪酸的轉移和氧化；Santulli & D'Amelio (1985) 對魚組織中肉鹼的分布進行分析，發現人工養殖魚的肉鹼含量比野生魚還低，因而在飼料中添加肉鹼似乎有其必要性。但之後，在飼料中添加肉鹼是否對水產動物具有正面的生理作用，一直是個眾說紛云的研究課題。

### 一、促進成長

魚體的成長（表現在增重）是日常養殖作業的主要目的，也是飼料添加肉鹼效果的重要觀察指標。如前所述，肉鹼有助於脂肪的節約蛋白質效應而促進成長，相關研究顯示，在非洲鯇魚、嘉鱲魚、鯉魚、印度鯉魚及黑鯛等飼料中添加肉鹼，可有效促進魚體成長；但相反地，添加肉鹼卻對大西洋鮭和虹鱈的成長沒有影響。另外，即使是同魚種也會有不一致的研究結果，例如 Santulli & D'Amelio (1986) 認為肉鹼可增進歐洲鱸的成長與改變魚體成分組成，但 Dias et al. (2001) 的研究則得到完全相反的結果；在雜

交條紋鱸也有類似的情形 (Twibell & Brown, 2000 v.s. Gaylord & Gatlin, 2000)。顯然，水產飼料添加肉鹼對魚體增重的效果並無一定，不同魚種甚或相同魚種的不同研究都可能有南轔北轍的結果。

### 二、改變體成分組成

醣類、蛋白質和脂肪是動物體所需的三大產能營養素，透過調整飼料配方可改變養殖魚對這三大營養素的蓄積。肉鹼可促進脂肪酸的氧化產能而減少體內的脂肪蓄積，進而對產能營養素具有重分配的效果。添加肉鹼可降低下列各魚種不同部位的脂質含量：非洲鯇魚與美洲河鯇的全魚、歐洲鱸的肝臟與肌肉、印度鯉魚、日本鰻與印度白蝦的肌肉、雜交吳郭魚的肝臟、及大西洋鮭魚的肉片與內臟。然而，飼料添加肉鹼卻無法減少虹鱈與雜交吳郭魚全魚的脂質含量，或嘉鱲魚、雜交條紋鱸與歐洲鱸肌肉和肝臟的脂質含量。顯見肉鹼對魚體成分組成的影響，一樣是有相矛盾之處；但較能理解的是，魚類對脂肪的利用與蓄積本就存有極大的差異，故肉鹼對改變體成分組成的效果也可能因種而異。

### 三、舒緩緊迫壓力

緊迫會增加動物體的代謝需求，使內源性肉鹼的生物可利用量減少而對肉鹼的需求性提高。飲食中添加肉鹼可舒緩陸上動物因劇烈運動或搬遷所造成的緊迫 (Bertol et al., 2003)。魚類是變溫動物，所以溫度對魚體所有生化反應的影響甚巨，溫度變化會改變魚體的生化平衡與代謝需求（尤其是脂肪代謝），水溫變化過大，常會造成養植物的緊迫甚至死亡。Harpaz et al. (1999) 以添加肉鹼的

飼料餵食紅肚鳳凰 82 天，發現其於冷刺激（每小時降 2°C，由 27°C 降至 13°C）後的活存率較對照組高，顯示飼料添加肉鹼有助於這種觀賞魚對冷刺激的抗緊迫能力。最近 Ozório et al. (2008) 測試在氯緊迫和鏈球菌攻擊的環境下，在大菱鮚的飼料中添加肉鹼對魚隻活存、細胞活力和呼吸頻率的影響，結果認為飼料添加肉鹼有助於保護魚體抵抗這兩種非生物性和生物性的緊迫壓力。

#### 四、增進排毒效果

水中氯的濃度過高，常造成魚體的緊迫現象或甚至導致死亡，肉鹼有減輕氯中毒的效果，這可能與肉鹼能迅速動員預備能量和激化尿素循環有關。將大鱗鮚先行注射肉鹼後再注射造成毒性的氯化銨，結果未注射肉鹼的對照組有 98% 呈中毒現象、死亡率高達 69%，但注射肉鹼組只有 33% 中毒、死亡率也只有 4%，顯示肉鹼可降低的急性氯中毒現象 (Termblay & Bradley, 1992)。筆者等人的研究也發現，攝食添加肉鹼的飼料可降低吳郭魚血氯濃度，而尿素濃度則有增加的趨勢 (Yang et al., 2009)。肉鹼可排除動物體內過量的或非生理性醯基團，協助魚體將化學異物（藥物與化學物）排出，例如將孔雀魚餵以添加肉鹼的飼料，可提昇其鰓部與皮膚上皮層排拒外來陰離子毒物的效率 (Schreiber et al., 1997)；另外，飼料添加肉鹼對魚體抵抗異物入侵亦有多重的保護作用，如降低螢光黃對細胞穿透性、提高細胞對有機陰離子的主動運輸以及增進多重化學異物抵抗運輸能力等 (Schlechtriem et al., 2004)。

#### 五、對繁殖與育苗的效果

在人體試驗中發現，肉鹼與精蟲數、活

躍精子及正常形態精子的比率都呈正相關，也就是說肉鹼與生殖性能有關。在雄性莫三比克吳郭魚的飼料中添加肉鹼，結果不僅有助於成長，其精巢重與精細胞濃度也明顯優於未添加的對照組，顯示肉鹼有助於種魚繁殖性能的提升 (Jayaprakas et al., 1996)。肉鹼對孔雀魚雌魚的體形和產苗頻率有正面效果，但這種效應只在夏天比較明顯 (Harpaz, 2005)。另一方面，處於快速成長期的動物，尤其是新生期，極度需要利用脂肪作為能源以加速成長，而其體內生合成肉鹼的速率又受到限制，影響到脂肪的氧化燃燒，因而需要提供外源性的肉鹼以補充體內合成的不足 (Rebouche & Seim, 1998)。在人類嬰幼兒奶粉中添加肉鹼，可有效調節脂肪代謝進而促進成長；在畜產方面，飼料中添加適量的肉鹼亦可明顯促進仔畜的成長；在大菱鮚仔魚期，餵以經肉鹼滋養的輪蟲和豐年蝦可顯著提高活存率 (Fernández-Pato & Martínez-Tapia, 1991)。

#### 吳郭魚餵飼肉鹼之效果

表 1 為幾個有關吳郭魚飼料添加肉鹼的研究結果，如前所述，飼料添加肉鹼並不一定都有增重的效果，在吳郭魚也是如此。造成這種現象的原因很多，如飼料離胺酸和甲硫胺酸含量、試驗期間長短、試驗魚大小、肉鹼添加量和溶失問題等 (Harpaz, 2005)。筆者等 (Yang et al., 2009) 以越冬長期間飼養的方式，探討以植物性原料為飼料主蛋白源以及在不同油脂含量下，添加肉鹼對成長、體成分組成、血液性狀與肉質的影響，結果

顯示飼料添加肉鹼對起始體重約 142 g 雜交吳郭魚的成長和體成分組成無正面效果，這與 Du et al. (2002) 及 Schlechtriem et al. (2004) 的結論相同，但前述兩個研究的養殖期間分別只有 34 和 56 天，而筆者等的試驗則長達 168 天，所以試驗期間長短對飼料添加肉鹼效果的展現似乎不是那麼明顯。Harpaz (2005) 推測歷經低溫的溫差變化有助於彰顯肉鹼的添加效果，但本試驗在較低的水溫 (17.1–25.7°C) 進行長期間養殖，卻仍未得到促進成長的預期效果，推測是因為溫度還不夠低或溫差變化不夠大對魚體並未造成緊迫之故。

通常在稚齡或處於快速成長期的動物比較需要額外的肉鹼，因為單位體重的攝食量較多，且極度需要利用脂肪作為能源以加速成長 (Rebouche, 1992)。由表 1 來看，對起始體型較小的魚，肉鹼的作用似乎較為明顯，而對大魚就不見得有影響；因此，肉鹼的添加效果可能與魚體大小有關。另外值得注意的是肉鹼在飼料中的添加量也會影響成效，在許多魚類的試驗研究中，每公斤飼料

的肉鹼添加量從最低 150 mg 到 3 g 都有，劑量差距相當大，但過量添加肉鹼可能達不到效果甚至有不良影響，通常飼料中合宜的肉鹼量約在 240–450 mg/kg 飼料 (Torreele et al. 1993; Ma et al., 2008)。

肉鹼因可促進動物體脂肪酸的氧化產能而減少體內脂肪蓄積，對產能營養素具有重分配的效果，進而影響魚體臟器的相對比重。筆者等的研究發現，提高飼料油脂含量會使腸繫膜脂肪組織與魚體的相對比重略有提高，而飼料中添加肉鹼可顯著降低這個比例 (圖 2)，有益於提高屠宰時的取肉率。基本上，肉鹼因促進脂肪酸的氧化作用而可降低血清三醯甘油脂的含量，並可清除血清游離醯基而減少合成膽固醇，降低動物體內膽固醇的累積。不過，在筆者等的研究中這種現象並不明顯，反倒是飼料油脂含量有決定性的影響，亦即飼料油脂量高則血液中的三醯甘油脂和膽固醇也高；相反的，Huang et al. (2010) 發現吳郭魚飼料中添加肉鹼可使血漿中的膽固醇和三醯甘油脂分別降低 9.82%

表 1 飼料添加肉鹼對幾種吳郭魚的影響

	品種							
	莫三比克種	尼羅種	雜交種 ( <i>Oreochromis niloticus × O. aureus</i> )					
試驗天數	252	70	90	34	56	65	144	168
試驗水溫(°C)		27	28–30.5	21	25–29	28.9	22–28	21.6
起始體型(g)	2.2	4.2	9.0	38.7	86.1	0.3	32.3	141.7
動物蛋白含量(g/kg)	368	80		100		100	50	50
油脂含量(g/kg)	44	55		68	35	5.4	75	70
肉鹼添加量(mg/kg)	900	450	500	400	150	150	150	250
成長性能	增進	增進	增進	沒影響	沒影響	增進	增進	沒影響
體成分組成	改變	改變		沒影響		改變	沒影響	沒影響
參考文獻	Jayaprakas et al., 1996	El-Sayed et al., 2010	Dikel et al., 2003	Du et al., 2002	Schlech-Triem et al., 2004	Huang et al., 2010	Becker et al., 1999	Yang et al., 2009

和 65.43%，有明顯降血脂的效果。另一方面，脂肪肝是養殖魚常見的營養性疾病之一，池魚因肝臟脂肪代謝失調、沉積、浸潤、脂肪含量升高，導致肝臟腫大並產生脂肪肝病變。筆者等的研究認為在一定程度的營養基準上，飼料適量添加肉鹼的吳郭魚其肝體比會較對照組小，而 Huang et al. (2010) 更指出做為肝指數的 GOT 和 GPT 活性在飼料添加肉鹼組有顯著的降低。

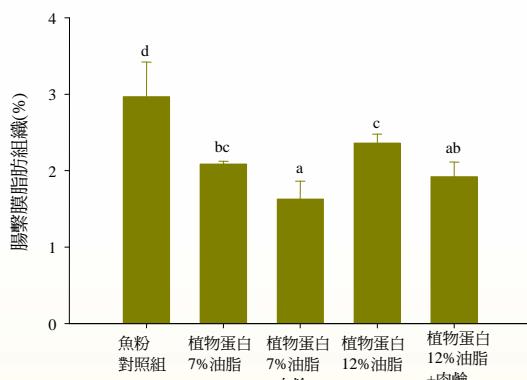


圖 2 飼料添加肉鹼對吳郭魚腸繫膜脂肪組織比例之影響(標有不同英文字母者表差異顯著)

飼料添加肉鹼可增進吳郭魚肉片解凍後的保水力 (water-holding capacity)。餵飼植物性蛋白飼料的吳郭魚，肉片的水分流失通常高於魚粉對照組，而在其中添加肉鹼可顯著減少魚肉水分的流失 (圖 3)。魚肉的保水力與肌肉組織的抗氧化狀態有關，當非洲鯇餵以含氧化油的飼料時，魚肉解凍後的保水力明顯變差，而增加飼料中的抗氧化物質則可明顯改善 (Baker, 1997)。肉鹼及其酯類具有保護細胞的功用，可抑制自由基的連鎖反應以及降低膜磷脂質的氧化 (Rebouche, 1992)，提高黑鯛肌肉抗氧化酵素活性與降低丙二醛 (malondialdehyde) 和過氧化氫濃度 (Ma et

al., 2008)，因而有助於提昇魚肉的抗氧化能力，進而減少肉片解凍後的汁液流失。

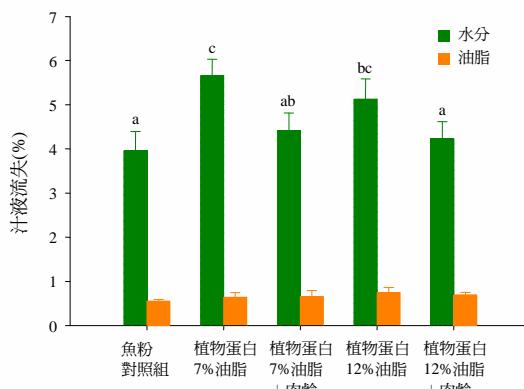


圖 3 攝食不同飼料之吳郭魚的冷凍肉片汁液流失比例(標有不同英文字母者表差異顯著)

## 結論

在正常的養殖管理情形下，養殖魚 (尤其是大魚) 或許能生合成足夠的肉鹼以維持生體所需；然而，在冬天節食時期、水溫驟變期及其他特殊時期，魚體需要燃燒更多脂肪做為能量，飼料中額外添加肉鹼似乎有其必要性；再者，肉鹼可增進脂肪代謝，對飼料蛋白質有某種程度的節約效果。此外，對於保護細胞免於化學異物或藥物侵入，幫助魚體舒緩水質環境的緊迫壓力，增進繁殖性能，甚至是感染時免疫力的提昇，肉鹼似乎都有一定的功能；最近的研究更發現飼料添加肉鹼也有助於細胞的抗氧化作用，並可提昇養殖魚的肉質。不過在實務上，成本效益才是最重要的考量，即使肉鹼有上述的各種功能，考慮使用這種不算便宜的飼料添加劑時，適用的魚種、使用的劑量、時機及使用期間等，都是重要的成本計算因素。