



魚類對鈣磷之需求及利用

何碧月

水產試驗所生物技術組

鈣與磷在魚蝦體內之分布

礦物質一般稱為無機鹽，存於動物體中，為生物代謝所需之營養素。礦物質依其在動物體內之濃度可分為巨量元素如鈣、磷、鉀、鎂、氯等，以及微量元素如鐵、銅、錳、鋅、鈷、碘、硒等。鈣與磷同屬巨量元素中之礦物質，動物體中的鈣 (99%) 及大部分的磷 (85%) 存在於骨骼及牙齒。魚類則存在於骨骼、牙齒及鱗片上，三者中以骨骼之含量最多。在虹鱒、吳郭魚、鯉魚骨骼中，鈣含量約為 10–19% 乾重 (Ogino & Takeda, 1978; Robinson et al., 1984; Ogino et al., 1979)，而磷之含量則在 5–11%。大約有 86–88% 的磷，以磷酸鈣和氫氧基磷灰石 $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$ 之型式存在於魚體骨骼中，其餘則分別存在於細胞及細胞外液的有機磷酸酯、磷蛋白質、磷脂質及無機磷酸離子 (H_2PO_4^- 和 HPO_4^{2-})。

鈣與磷之生理功能及代謝

鈣為構成魚類骨骼、牙齒、鱗片及

甲殼類外殼之成分，其主要之生理功能，有降低血管壁及細胞膜之通透性、參與肌肉收縮、神經傳導、血液凝固等作用。磷為構成磷脂質、ATP 等重要有機酸化合物組成分，參與醣類、脂質、蛋白質及能量之代謝，磷酸離子則維持體液之酸鹼值，具有緩衝能力。

魚類獲得無機鹽之方式，除了從食物攝取外，與陸上動物最大之不同點，在於可經由鰓或皮膚來攝取水中的離子態無機鹽。對魚類而言，骨骼並不是調節鈣的主要部位，而是在鰓、鱗及口部上皮細胞，以鰓部為主 (Lall, 1989)。

魚類對鈣、磷之需求量

在探討魚蝦營養需求中，有關礦物質方面的研究是較弱的一環。吳郭魚和鯰魚在不含鈣之水中飼養時，則飼料中鈣的添加是必需的，其需求量為 0.45–0.7%。當水中含鈣時，鯉魚、虹鱒及鮭魚之飼料不需添加鈣，而鯰魚則需要 0.05% 的鈣，海鱸之需求為 0.5–1% (表 1)，因為水中溶有鈣，魚蝦類可由水中攝取鈣而影響其需求量 (NRC, 1983)。



魚類對磷之需求量介於 0.4–0.8%之間 (表 2)。磷的攝取必需經由食物，因水中含磷量較少，而且魚類對水中磷之吸收率也較差，魚類無法由水中得到所需的磷 (Phillip et al., 1958)。

鈣與磷之相互關係

鈣與磷常被放在一起討論，因為它們在生物體內，大多互相鍵結一起，且在營養上任一方缺乏或過多時，亦常使另一元素的營養價受到限制 (Lall, 1979)。固定鯉魚飼料中的鈣時，鯉魚對

磷之吸收率隨著飼料中磷含量之增加而提高。相反地，固定飼料中的磷，鯉魚對磷之吸收率與飼料中鈣之含量成負相關 (Nakamura, 1982)。在陸上動物研究中，Harrold et al. (1983) 認為當飼料中鈣、磷比例懸殊時，動物會於消化道中形成不溶性的磷酸鹽，而降低鈣磷之有效性。由於魚類可從水中吸收鈣，因此，飼料中鈣磷比例並不如陸上動物嚴苛，儘管如此，還是有些魚類被定出鈣磷比。如真鯛之鈣磷比為 1:2 (0.34%:0.68%) (Sakamoto & Yone, 1973)，日本鰻為 1:2 (0.34%:0.68%) (Nose & Arai, 1976)。

表 1 魚類對鈣之需求量

魚種	鈣源	需求量 (%)	水中鈣含量 (ppm)	參考文獻
吳郭魚 (<i>Oreochromis aureus</i>)	硫酸鈣	0.17-0.65	Ca-free	Robinson et al., 1984
	硫酸鈣	0.7	Ca-free	Robinson et al., 1987
鯰魚 (<i>Ictalurus punctatus</i>)	硫酸鈣	0.45	Ca-free	Robinson et al., 1986
	碳酸鈣	0.05	56	Andrews et al., 1973
虹鱒 (<i>Salmo gairdneri</i>)	乳酸鈣	不需要	20-23	Ogino & Takeda, 1978
鮭魚 (<i>Oncorhynchus keta</i>)	乳酸鈣	不需要	20	Watanabe et al., 1980
鯉魚 (<i>Cyprinus carpio</i>)	乳酸鈣	不需要	20	Ogino & Takeda, 1976
海鱸 (<i>Rachycentron canadum</i>)	氯化鈣	0.5-1.0	350	何等, 2003

表 2 魚類對磷之需求量

魚種	磷源	需求量 (%)	參考文獻
鯰魚 (<i>Ictalurus punctatus</i>)	磷酸鈉	0.4	Wilson et al., 1982
	磷酸鈉	0.8	Andrews et al., 1973
鯉魚 (<i>Cyprinus carpio</i>)	磷酸鈉	0.6-0.8	Ogino & Takeda, 1976
吳郭魚 (<i>Oreochromis aureus</i>)	磷酸鈉	0.3-0.5	Robinson et al., 1987
吳郭魚 (<i>O. nilotica</i>)	白魚粉	1.4 (總磷)、0.9 (有效磷)	Watanabe et al., 1980a
鮭魚 (<i>Oncorhynchus keta</i>)	磷酸鈉	0.5-0.6	Watanabe et al., 1980b
	白魚粉	0.95	
虹鱒 (<i>Salmo gairdneri</i>)	磷酸鈉	0.7-0.8	Ogino & Takeda, 1978
	磷酸鉀		
大西洋鮭 (<i>Salmo salar</i>)	磷酸鈣	0.6-0.7	Ketola, 1975
真鯛 (<i>Chrysophrys major</i>)	磷酸鈣	0.68	Sakamoto & Yone, 1973
海鱸 (<i>Rachycentron canadum</i>)	磷酸鈉	1.58 (總磷)、0.6 (添加)	何等, 2003

鈣與磷之缺乏症

鈣與磷之缺乏症示如表 3，主要出現在骨骼異常及組織中無機鹽濃度之變化。魚蝦類較少提及有關鈣之缺乏症，因魚蝦類可由水中攝取，因此，即使鯉魚和虹鱒在缺乏鈣之情形下，也不會發生缺乏症狀。磷缺乏時，則會有各種症狀產生；鮭魚餵予缺乏磷之飼料時，從魚的外觀及骨骼可看出異常現象。黑鯛 (*Mylio macrocephalus*) 缺乏磷時，也會因骨骼異常導致魚體變形，骨骼中之灰分、鈣磷濃度較低 (陳, 1991)。餵食鯉魚及虹鱒利用率較低之磷酸鹽類 (如 tribasic phosphorus) 時，由於魚類對此等磷酸鹽類之利用率較差，無法獲得足量之磷，也會造成骨骼異常現象。

Sakamoto & Yone 曾指出餵予缺磷飼料之真鯛，會使該魚肌肉、肝臟和脊椎骨中脂肪含量高於磷添加組，並針對此現象進一步探討其原因，於飼料中以磷、碳水化合物及脂質互相配合，再進一步分析缺磷組之真鯛的極性、非極性脂質及脂肪酸含量，證實貯存於魚體中

的脂肪，並非飼料中的碳水化合物轉化而來，而是缺磷組之真鯛對於飼料中的脂肪，並沒有進一步的代謝，直接貯存於體內之故。因此，餵食缺磷飼料之真鯛，無法充分利用飼料中脂質做為能量的來源，鯉魚也有相同之現象。

魚類對不同磷酸鹽類之利用率

魚類對於不同型態之磷酸鹽類以及動、植物性飼料原料中所含磷之利用率，依魚種及磷之來源有相當大之差異 (表 4)。鯉魚、虹鱒、鮭魚等對於第一磷酸鹽類之利用率為最佳，而對於第二磷酸鹽類如 CaHPO_4 ，則因魚種不同而有很大的差異，以鯉魚的 46% 最差，其次為鯰魚 (65%)，鮭鱒魚類較相似。第三磷酸鹽類之利用率最差，尤其是鯉魚，幾乎無法利用此種磷酸鹽類。觀察此三種不同型式磷酸鹽類之利用率，與其溶解度成正比，鯉魚對於第二及第三磷酸鹽類之利用率較差，可能因此魚種沒有胃，缺乏胃酸分解該類無機鹽類，而降低其消化率 (Ogino et al., 1979)。

表 3 魚類之鈣磷缺乏症

魚種	缺乏症		參考文獻
	鈣	磷	
虹鱒 (<i>Salmo gairdneri</i>)	無	成長差、骨骼及魚體灰分、鈣磷降低	Ogino & Takeda, 1978
大西洋鮭 (<i>Salmo salar</i>)	-	成長差、骨骼灰分降低	Ketola, 1975
鮭魚 (<i>Oncorhynchus keta</i>)	-	成長差、骨骼異常	Nose & Ogino, 1980
真鯛 (<i>Chrysophrys major</i>)	-	肌肉、肝臟、脊椎骨脂質增加，灰分降低	Sakamoto & Yone, 1978
鯉魚 (<i>Cyprinus carpio</i>)	-	魚、體脊椎骨脂質增加 骨骼異常	Takeuchi & Nakazoe, 1981 Ogino et al., 1979
吳郭魚 (<i>Oreochromis aureus</i>)	成長差	成長差、骨骼灰分、鈣和磷降低	Robinson et al., 1987
鯰魚 (<i>Ictalurus punctatus</i>)	-	骨骼灰分降低	Andrews et al., 1973



飼料原料中磷之利用率大致以植物性原料中的磷較差 (表 4)，其中小麥胚芽較高也僅達約 58%；因植物性原料含植酸，魚類消化道中的黏膜，無法分泌植酸酶 (phytase) 加以水解，而降低其利用率。

表 4 魚類對飼料原料及無機磷酸鹽所含磷之有效性 (Lall, 1991)

來源	虹鱒 ^a (%)	大西洋鮭 ^b (%)	鮫魚 ^c (%)	鯉魚 ^a (%)
動物性副產物				
血粉	-	81	-	-
Brewer's 酵母粉	91	79	-	93
酪蛋白	90	92	90 ^d	97
卵蛋白	-	-	71	-
水解羽毛粉	-	77	-	-
家禽副產物	-	81	-	-
水產副產物				
鱈魚粉	-	-	40	-
日本紅魚粉	70-81	-	13-33	-
Capelin 魚粉	-	53	-	-
鯡魚粉	-	52	-	-
大鯡魚粉	-	87	39	-
白魚粉	-	79	-	-
日本白魚粉	60-72	-	-	10-26
植物性原料				
米糠	19	-	-	25
小麥胚芽	58	-	-	57
粉頭	-	32	28	-
玉米粉	-	-	25	-
帶殼大豆粉	-	-	50	-
去殼大豆粉	-	36	29-54 ^d	-
植酸	0 ^e , 19 ^a	0	0	8-38
無機磷酸鹽類				
NaH ₂ PO ₄	98	95	90	94
KH ₂ PO ₄	98	94	-	94
磷酸鈣	-	-	94	-
Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O	94	90	65	94
CaHPO ₄	71	72	-	46
Ca ₁₀ (OH) ₂ (PO ₄) ₆	64	56	-	13

^aOgino et al. (1979)、^bLall et al.：表面消化值、^cLovell et al. (1977)：表面吸收值、^dWilson et al. (1982)：表面吸收值、^eKetola (1990)

動物飼料原料中的魚粉含多量的磷，但其主要以氫氧基磷灰石之型式存在，利用率較差。因此，不同魚種對其利用率有相當大的差別，以鮭鱒魚類之利用率較佳。除了表 4 所列之魚種外，吳郭魚對魚粉中磷的利用率為 65%。當吳郭魚以鯡魚粉-蘆粟作為飼料原料時，尚需添加 0.7%的磷，小魚則需要 1.0%的磷 (Viola et al., 1986)，黑鯛和鯉魚對魚粉中磷的利用率最差。

維生素 D 與鈣磷之相關性

維生素 D 對陸上脊椎動物之功能為維持鈣、磷之恆定，增加腸道吸收鈣與磷，促進鹼性磷酸酶之活性等 (Wasserman & Fullmer, 1983; Scott, 1986, Kowarski & Schachter, 1969; Wasserman & Taylor, 1973)。將維生素 D 注入鯉魚體中，確能提高鯉魚血液中鈣、磷含量 (Swarup et al., 1991)。但是魚類對鈣之獲得，並不僅僅得自食物，也能吸收水中的鈣。

吳郭魚飼養於低鈣之水中時，飼料中鈣之添加與否，對吳郭魚之成長大有影響，但是無法確認維生素 D 與鈣之相關性 (O'connel & Gatlin, 1994)。另外，草蝦和鮫魚體中鈣、磷含量，也不受維生素 D 之影響 (Shiau & Hwang, 1994; Launer et al., 1978)。因此，如以鈣吸收之觀點而言，維生素 D 對水產生物體中鈣的調節，似乎不像陸上動物般具有相當之重要性 (Brown & Robinson, 1992)。