

水產動物之維生素需求

蕭錫延 國家講座教授

國立臺灣海洋大學食品科學系

1. 前言

1-1. 維生素的起源與發展

維生素是動物或人體不能合成的一種複合型態之有機物質，但卻是維持生命，促進生長、生殖以及調節蛋白質，脂肪及醣類等營養素新陳代謝所必需，生物體內一日不可或缺。每一種維生素之化學結構、性質及分佈極不相同，並具有特殊且不能替代的生化代謝作用。一般根據它們的溶解方式而將其區分為脂溶性和水溶性維生素兩大類。

維生素學的起源可追溯到18世紀中葉，一位英國皇家海軍的軍醫詹姆士林德(James Lind)發現許多船員生一種怪病，症狀包括牙齦流血、牙齒脫落、皮膚蒼白、身體虛弱，甚至死亡。於是他做了一個試驗，發現以橘子和檸檬汁給船員，這種疾病很快就消失了。後來這種病被稱做壞血病(scurvy)，而橘子和檸檬汁之中能預防和治療壞血病的成份就是維生素C。

到了19世紀後葉，一位日本海軍軍醫大監高木謙寬則發現在許多士兵中很普遍的腳氣病(beriberi)，可用蔬菜、魚、肉類和大麥取代米來預防。腳氣病是一種會造成厭食、心臟擴大及肌肉和神經功能不正常的疾病。高木謙寬據此認為這種疾病乃是因為食物中之蛋白質不足或是脂肪與碳水化合物過多之故。雖然此一結論後來被證實錯誤的，但是他的食療法卻完全防止了腳氣病的發生。

維生素學發展史上另一位重要人物是一位荷蘭學者克理斯欽愛克曼(Christian Eijkman)，西元1886年他隨團赴印尼研究腳氣病(這種病在米食為主的亞洲國家最為流行)，希望能找出致病的病原菌。因為當時科學界正是病原菌理論(Germtheory)所主導的時代，學者們都相信一切的疾病均是由病菌所引起，而對於食物與疾病的關係尚一無所知或不能接受。令愛克曼等人失望的是他們並未發現病原菌的證據。然而愛克曼卻獨具慧眼，有一天他注意到研究所飼養的雞群當中有許多走路顛簸或不能站立。過了幾個月這些雞卻突然恢復正常。他聯想到雞的這種病徵與人類的腳氣病類似。因此翻閱實驗室的紀錄，發現在這些雞發病期間正好是他的助手因為沒有糙米而改餵精米。當這些雞再改回以糙米餵食之後，這種病便很快的消失了。

他因此開始研究米糠的成份，並發現能防止腳氣病的成份是一種水溶性並能通過薄膜以及易受熱破壞的成份。後人將此一成份稱為維生素B₁。

愛克曼的發現有兩大意義，第一是說明食物中若缺乏某些成份會使動物致病；第二是某些動物可做為研究人體疾病的研究模式(animal model)，而愛克曼就是營養和醫學史上第一位使用動物模式來研究人類疾病的學者。由於這些貢獻，愛克曼在西元1929年獲得諾貝爾獎，同時這也是維生素學上的第一個諾貝爾獎。而英國皇家軍醫詹姆士林德(James Lind)則是在有紀錄的科學史上是第一位從事有控制組的正式臨床研究學者，但當時尚未有諾貝爾獎。

1-2. 維生素的命名

在初期維生素的命名極為混淆，Hopkins在1906年繼醣類、脂質、蛋白質及礦物質的發現之後，確定了食物中尚有維生素的存在，首先為維生素命名，當時將維生素稱之為“食物副要素”(food accessory factor)。至於「維生素」(viramine)的名稱則是在1912年由一位在英國倫敦從事腳氣病研究的波蘭化學家卡西米爾克(Casimir Funk)所提出。他發現從米糠中分離出之抗腳氣病因素，這種生命所必需(vital)的成分含有胺基(amine)，因而把"vital"加上"amine"而合成"vitamine"，這就是劃時代的維生素理論(vitamine theory)的誕生。從此學者除了病原菌理論之外，也漸漸接受這種因食物中缺乏某些成份也能致病的維生素理論。後來學者發現並非所有的維生素都會有氮或胺基，比如脂溶性維生素A、D、E和K以及維生素C均不含氮或胺基。因此學者將"vitamine"這個字的字尾"e"去掉，而寫成"vitamin"。事實上連含有胺基的維生素B₁，在現今與營養學有關的教科書中也寫成"thiamin"而非"thiamine"。

由於愛克曼使用動物模式和卡西米爾克的維生素理論的啟發，許多維生素的研究如雨後春筍般地興起，各種維生素的發現和人工合成可謂風起雲湧。1920年杜倫蒙(Drummond)把能預防乾眼症和夜盲症的脂溶性成份命名為維生素A，以及同一期間麥克可倫(McCollum)在魚肝油中找出抗佝僂症的維生素D，一直到1948年福克斯(Folkers)定出維生素B₁₂為止，短短的四十多年之間，現今所知的13種維生素已全部被發現。一直到今日儘管其間有不少化學物質被某些人認為是維生素，但是營養與醫學界並未再正式認可這13種以外的任何一種維生素。

維生素雖不是構成動物體的主要成份，也不能提供能量，但它們對維持動物體的代謝和生理功能，有著極重要且不為其他營養素所替代的作用。目前已知，許多維生素是構成輔酵素的重要成份，有的則直接參與動物體的生長和生殖活動。如果長期攝入不足或由於其他因素導致不能滿足動物體生理需求，不僅對於陸地動物會造成缺乏症發生，研究結果亦顯示維生素的缺乏導致魚、蝦類等水產養殖動物發生代謝障礙、生長遲緩和對疾病的抵抗力下降。

2、脂溶性維生素的性質與生理功能

脂溶性維生素不溶於水，而易溶於脂肪及有機溶劑如乙醚、氯仿等，在飼料中常與脂肪共存，且其吸收也須藉助於脂肪的存在。脂溶性維生素可在魚體肝臟中大量儲存，待需要時再釋放出來供魚體利用。水產動物之脂溶性維生素需求與陸上動物相同，分別為維生素A、D、E、K，茲將其性質與生理功能分述如下：

2-1. 維生素A (vitamin A)

維生素A是最早被發現的脂溶性維生素(McCollum and Davis, 1913)。一般維生素A是指視網醇(retinol)、視網醛(retinal)及視網酸(retinoic acid)，然而維生素A的攝取亦包括可轉換為維生素A之 β -胡蘿蔔素(β -carotene)。維生素A為呈淡黃色之油狀物，不溶於水但溶於有機溶劑，容易被氧化，在食物中主要以酯類的形態存在。

維生素A的生理功能在於維持正常的視覺、上皮細胞的分化、黏液的產生與骨骼的生長，維生素A也參與脂質的代謝。維生素A已被證實為魚類生長之必需營養素，對其眼與鰓之正常結構與功能很重要。蝦類維生素A主要的蓄積部位是眼部(Fisher et al., 1952)，Fisher (1960)也指出維生素A亦參與甲殼類的視覺功能。

2-2. 維生素D (vitamin D)

自然界中有數種維生素D型的固醇類存在，其中以D₂及D₃為最重要。維生素D₂ (ergocalciferol)是由植物體內生合成的ergosterol受紫外光照射而生成；維生素D₃ (cholecalciferol)則是由動物體內生合成的7-dehydrocholesterol經紫外光照射而生成。維生素D₂及D₃對人類或大部分哺乳動物之生物有效性相當，但對鳥類而言D₂只有D₃之1/10的活性，而對魚類虹鱒(*Salmo gairdneri*)而言維生素D₃的活性至少比D₂高三倍(Barnett et al.,

1982a,b)。此外，Shiau和Hwang (1994)在草蝦(*Penaeus monodon*)的研究中也指出維生素D₂的活性僅約為D₃的2%。

維生素D最主要的功能在於控制腸內和骨骼中鈣離子的去向，來調節血漿中鈣離子的濃度。此外，亦有報告指出維生素D會影響腸道對磷的吸收(Wasserman and Taylor, 1968)。

2-3. 維生素E (vitamin E)

維生素E又名生育醇(tocopherol)。生育醇的命名，最初是由於發現當在公鼠體內缺乏維生素E時，會造成公鼠細精管上皮細胞的萎縮而造成不孕的現象，而稱之。而維生素E的由來，則是因它發現於維生素D之後。維生素E的存在型式以生育醇為主要的型態，其中以生理活性大小又可細分為 α 、 β 、 γ 、 δ 等8種。若以抗氧化的生理活性評估，則以 δ -tocopherol為最高($\delta > \gamma > \beta > \alpha$)；但當以具生育活性評估，則以 α -tocopherol為最高($\alpha > \beta > \gamma > \delta$)。維生素是一種淡黃色油性物質，在溫度升高和鹼性條件下易被氧化，也易受礦物質和脂肪酸氧化破壞，相當不穩定。維生素E的生化功用如下：(1)為一般生物性抗氧化物質。(2)對老鼠而言具有抗不孕的功能。(3)與硒、維生素C在抗氧化功能上具有協同的功效。(4)與電子轉移有關，合成輔Q (ubiquinone)。(5)攝取維生素E有助於防止維生素A被氧化。

維生素E之一重要功能乃在保護含磷脂之細胞膜，如紅血球膜、粒腺體膜及內胞漿網狀膜(subcellular membranes of mitochondria and the endoplasmic reticulum)。其參與保護方式乃以抗氧化能力行之。硒(selenium)可以協助維生素E抗氧化。麩胱甘肽過氧化酶(glutathione peroxidase, GSH Px)具有防氧化分解(oxidative degradation)，而每分子之此酵素蛋白含一硒原子。此外，維生素C對維生素E之抗氧化能力及對GSH Px有加成作用。除抗氧化能力外，維生素E可防止紅血球溶解(erythrocyte hemolysis)。它是直接參與porphyrin和heme synthesis之酵素作用。

維生素E在生物體內最受矚目的功能，即為抗氧化作用，其可幫助細胞膜上的多元不飽和脂肪酸與磷脂質避免被氧化，保護細胞膜的穩定性，為生物體最重要的脂溶性抗氧化劑(Murai and Andrews, 1974; Baker and Davies, 1996; 1997)，故常被稱為中斷連鎖反應之抗氧化劑(chain-breaking antioxidant)或被譽為生物體細胞膜最重要的游離基清除者(Burton and Ingold, 1989; Cohn, 1997)。同時，維生素E對於飼料及生物體組織中之油脂

具有穩定作用，以避免油脂的氧化，產生具有毒性的脂質過氧化物。此外，尚有穩定維生素A使避免變質的功用。

飼料中一但缺乏維生素E，動物將顯現白肌病或肌肉萎縮、脂肪炎以及脂肪肝。這些疾病大抵與抗氧化作用之被破壞及脂肪氧化有關。

2-4. 維生素K (vitamin K)

維生素K是Dam在1935年所確認，指出雞的抗出血維生素(antihemorrhagic vitamin)為一新的脂溶性維生素，並建立其命名(Dam, 1935)。維生素K主要可分成三個系列，包括維生素K₁ (phyloquinone)、維生素K₂ (menaquinone)及維生素K₃ (menadione)。

維生素K之生理功能在於配合其他特定蛋白質形成凝血因子，進而幫助血漿中血塊的形成。此外，維生素K亦會參與電子傳遞(electron transport)與氧化磷酸化反應(oxidative phosphorylation)。其他有關維生素K的生理功能則尚未十分清楚。

3. 水溶性維生素的性質與生理功能

有別於脂溶性維生素，水溶性維生素大多數都易溶於水，它們在生物體內不能大量儲存，當組織內含量趨於飽和時，多餘部份則會排泄出體外。雖然某些維生素可藉由動物腸道中的微生物來合成，但大多數的維生素仍須藉由飼料中來供應。水產動物對水溶性維生素的需求，除了與陸上動物相同的九種維生素(維生素B群與維生素C)外，另外還包括膽鹼(choline)與肌醇(inositol)，茲分述如下：

3-1. 維生素B₁ (thiamin)

維生素B₁又稱為硫胺(thiamin)，屬水溶性，在乾燥或酸性環境下，對熱相當穩定，但若與水份共同加熱或是在鹼性環境下，則易加速其破壞。維生素B₁在身體內最主要的功能便是在代謝中扮演輔酶(coenzyme)的角色，其輔酶的形式為thiamin pyrophosphate (TPP)，幫助所有和 α -keto acid decarboxylation有關的酵素作用，例如幫助carboxylase將丙酮酸(pyruvate)氧化去，轉變成乙醯輔酶(acetyl-CoA)後進入克伯式循環(Kerb's cycle)，藉此來獲得能量；在五碳糖循環中，thiamin幫助transketolase將ribulose-5-P中的兩個碳轉移給ribose-5-P形成glyceraldehyde-3-P及sedoheptulose-7-P，其中glyceraldehyde-3-P可以進入糖解作用產生能量，或是藉由產生NADPH (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate, reduced)來幫助脂質的合成。

3-2. 維生素B2 (riboflavin)

維生素B2又稱為核黃素(riboflavin)，其在生物體內為組成FMN (flavin mononucleotide)及FAD (flavin adenine dinucleotide)的一部份，此兩者為參與碳水化合物、蛋白質及脂質代謝過程中氧化還原酵素系統的輔酶，可幫助粒腺體中電子的傳遞。維生素B2也參與身體上血管較少之部位的呼吸作用，例如眼球細胞。

3-3. 泛酸 (pantothenic acid)

Williams等人在1933年發現泛酸。泛酸是由pantoic acid接合 β -alanine而成，完整的分子結構為(N-2,4-dihydroxy-3,3-dimethyl-1-oxobutyl)- β -alanine。泛酸的生理功能為構成輔酶A (coenzyme A, CoA)以及攜帶乙醯蛋白質(acyl carrier protein, ACP)的輔酶基(prosthetic group)的成份之一(Peterson and Peterson, 1945)。

CoA與酸結合後，能活化體內其他化合物進行反應。其中最重要的為acetyl CoA所參與的克伯式循環(Kerb's cycle)，其他如參與酮體、神經傳導物質(acetylcholine)、膽固醇、膽酸、荷爾蒙(prostaglandins, steroid hormones)的合成，以及與ACP一起參與的脂肪酸的合成、分解，在脂肪代謝上扮演重要的角色；而succinyl CoA也會參與hemoglobin及cytochromes的合成。泛酸也可以利用在藥物的解毒作用，如磺醯胺(sulfonamides)等。泛酸亦會刺激抗體合成，增加動物抵抗病原的能力(Hodges et al., 1962a,b; Axelrod, 1971; Lederer et al., 1975)。因此，泛酸在能量代謝、脂肪代謝、胺基酸代謝、神經傳導、血球及免疫等功能上，扮演著重要的角色。

3-4. 菸鹼酸 (niacin)

菸鹼酸完整的分子結構為pyridine-3-carboxylic acid，主要包括菸鹼酸(nicotinic acid)和菸鹼醯胺(nicotinamide)，其參與的生化代謝功能為合成兩種輔酶，NAD (nicotinamide adenine dinucleotide)與NADP (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate)。這兩個酵素主要是參與體內的氧化還原反應，特別是電子和氫離子的轉移。Niacin參與的代謝反應包括：(1)碳水化合物之代謝，如葡萄糖在有氧或無氧情形下之氧化反應、克伯式循環(Kerb's cycle)等。(2)脂質之代謝，如甘油的合成與分解、脂肪酸的合成與氧化、性類固醇賀爾蒙的合成等。(3)蛋白質之代謝，如氨基酸的合成與分解等。(4)視紫的合成。

3-5. 維生素B6 (pyridoxine)

維生素B6為所有3-hydroxy-2-methylpyridine之總稱 (IUPAC-IUB Commission on Biochemical Nomenclature, 1973)，衍生物因pyridine環上第四個位置接不同官能基如alcohol、aldehyde及amine group 而形成三種主要活化型：吡哆醇(pyridoxine, PN)、吡哆醛(pyridoxal, PL)及吡哆胺(pyridoxamine, PM)。此三種維生素B6活化型式，會在體內肝臟、紅血球及其他組織經由磷酸化反應轉換成兩個重要輔酶型式如：pyridoxal-5'-phosphate (PLP)及pyridoxamine-5'-phosphate (PMP)來參與代謝反應 (McDowell, 1989)。

維生素B6主要參與蛋白質代謝，適量提供維生素B6可使動物體內蛋白質代謝正常，而其他生理功能包括參與血紅素的生成、菸鹼酸的生成、免疫活性、神經系統、脂質代謝、生醣作用以及其他反應，如去胺作用(deamination)、脫硫作用(desulfhydration)、轉硫作用(transulfhydration)，轉甲基作用(transmethylation)及消旋作用(racemation)等 (Marks, 1975)。

3-6. 生物素 (biotin)

生物素是一種含硫的無色結晶狀物質。它從前曾被稱作coenzyme R或維生素H。生物素化學性質較穩定，不易受酸、鹼及光線破壞，但高溫 and 氧化劑可使其喪失活性。生物素在動物的營養上扮演著輔酶的角色，主要參與 α -carboxylase之CO₂的活化或轉移如: acetyl CoA carboxylase、pyruvate carboxylase、propionyl CoA carboxylase、3-methylcrotonyl-CoA carboxylase (Knowles, 1989)。而這些酵素主要參與醣質新生、長鏈脂肪酸的合成及單碳數脂肪酸代謝等，因此生物素對於胺基酸、碳水化合物和脂肪的代謝相當重要 (Shiau and Chin, 1999)。

3-7. 葉酸 (folic acid)

Mitchell等人在1941年由菠菜中分離出一結晶化合物，他們稱其為"folic acid"，其稱呼來自拉丁語稱葉子為folium。葉酸 (folic acid，又稱folacin)為黃色有亮光晶體，微溶於水，在中性或鹼性液體中對熱穩定，但在酸性液體中加熱很快就會分解，對光亦不穩定。葉酸之分子式為C₁₉H₁₉N₇O₆，分子量為441.4，其為glutamic acid、pteridine及PABA (para-amino benzoic acid)所組成的化合物。葉酸有很多種化合物，唯一不同處是在pterin；pterin可藉由dihydrofolate reductase催化，在7,8位置上被還原形成

H₂PteGlu (DHF)，若再藉由此酵素的催化會再進一步的形成H₄PteGlu (為tetrahydrofolate，簡稱THF)，其為活化型的葉酸。

葉酸之主要活化型式為四氫葉酸 (THF)，其最主要的功能是單碳之轉移作用，不同型式之葉酸輔酶於體內主要參與甲基化反應及核苷酸之合成反應。

3-8. 維生素B₁₂ (cyanocobalamin)

1926年Minot和Murphy發現肝臟中存有未知因子可治療惡性貧血，此種抗惡性貧血因子就是現在所知的維生素B₁₂。維生素B₁₂的結構分為四個部份：(1) corrin：為核心部份，形狀與血紅素類似，但其中心金屬元素為鈷原子。(2) aminopropanol。(3) sugar。(4) nucleotide。由於其含有鈷原子，因此被稱之為cobalamin，廣泛存在於肝臟、動物性食品及細菌中。維生素B₁₂對熱穩定，在pH 4.5-5.0的環境下有最大的穩定度，但在酸性及鹼性環境中都容易被破壞。維生素B₁₂可以用以維持所有細胞的正常新陳代謝，同時也參與葉酸在DNA合成上之轉甲基作用，對動物體之生長與紅血球的成熟有很大的關係，亦影響腦神經髓鞘的形成。在動物體內，維生素B₁₂參與兩組酵素系統，包括methylmalonyl CoA mutase與methionine synthase [homocysteine: 5-methyltetra-hydrofolate (5-methyl THFA) methyltransferase]，維生素B₁₂在其中主要作為輔酶角色，在methionine synthase中可幫助葉酸提供甲基以供homocystein轉變成methionine之用；當維生素B₁₂缺乏時methionine synthase含量會隨之下降，此時葉酸會以5-methyl THFA形式存在，無法轉變成葉酸活化形式(THFA)，因此造成thymidine與DNA之合成量下降，最後產生巨球性貧血症。

3-9. 維生素C (ascorbic acid)

維生素C又稱為抗壞血酸(L-ascorbic acid)，為白色結晶化合物，其分子結構與單醣相似，俱為六碳醣化合物，常見之維生素形態為：L-ascorbic acid，erythorbic acid，monodehydroascorbate以及dehydroascorbate四種，其中生理上最重要者為L-ascorbic acid形態。早期研究發現，幾乎所有的高等植物都能利用光合作用之產物以合成維生素C，但動物則不然。動物體內維生素C合成途徑與植物不同，動物生合成維生素C係glucuronic acid pathway之一部份，首先由 α -D-glucose磷酸化形成 α -D-glucose-6-phosphate，然後形成 α -D-glucose-1-phosphate，此化合物與uridine

triphosphate (UTP)反應形成肝糖前驅物UDP-glucose，此後UDP-glucose被氧化生成gulonolactone，最後之氧化反應係利用微粒體(microsomal)酵素，L-gulonolactone oxidase (EC 1.1.3.8)，生合成維生素C (Burns, 1975)。

在動物演化過程中，維生素C生合成能力始於兩棲動物的腎臟，合成維生素C的關鍵酵素L-gulonolactone oxidase仍留在爬蟲類的腎臟內，但此酵素已經轉移到哺乳動物的肝臟內，最後此酵素在天竺鼠，少數的鳥類與蝙蝠以及靈長類和人類的身上消失。

在水產動物方面，Yamamoto等人(1978)測定12種魚之L-gulonolactone oxidase活性，結果顯示除了鯉魚(*Cyprinus carpio*)肝胰臟的酵素活性僅相當於大白鼠肝臟活性的1/3之外，其他的魚種如香魚、鰻魚、嘉鱚以及吳郭魚等魚體內皆缺乏gulonolactone oxidase酵素活性。因此除了鯉魚等少數水產動物或許可以合成有限的維生素C，而可自行合成維生素C外，研究結果顯示大多數的魚、蝦類仍須於飼料中添加適量的維生素C。

維生素C廣泛存在於蔬菜、水果中。其生理功能包括促進膠原蛋白(collagen)形成、增進傷口癒合能力、參與氧化還原反應、合成腎上腺素、加強鐵的吸收、抗緊迫、保護維生素A、維生素E以及多元不飽和脂肪酸避免被過度氧化等。尤其近年來，維生素C對於抗氧化、提升免疫力與防癌等機制中所扮演的角色，更為受到研究者重視。

維生素C在膠原蛋白合成過程中，參與脯胺酸(proline)和離胺酸(lysine)轉變為羥脯胺酸(hydroxyproline)和羥離胺酸(hydroxylysine)之羥化反應(hydroxylation)，促進膠原蛋白形成，由於膠原蛋白是構成組織中細胞間質的材料，可使細胞排列更為嚴密，所以當維生素C缺乏時，膠原蛋白合成受到阻礙，將使細胞間的嚴密性受到損害，因此只要外界稍加壓力，血液則容易從血管中滲出，此種現象即稱為壞血病。

維生素C在其他的羥化反應亦扮演了重要的角色，色胺酸(tryptophan)轉化為神經傳遞物血清促進素(serotonin)，以及由酪胺酸(tyrosine)製造新腎上腺(norepinephrine)，這些涉及利用維生素C羥化反應的作用，可以解釋維生素C缺乏者，出現的血管及神經活動的異常症狀。而維生素C羥化膽固醇轉換成膽酸，促進膽固醇代謝及降低心血管疾病等相關的研究，是近年來的熱門題目。

維生素C為細胞外體液(extracellular fluid)最重要的抗氧化劑，可以保

護維生素A、維生素E以及多元不飽和脂肪酸，避免被氧化或與過氧自由基(peroxy radical)以及氫氧自由基(hydroxyl radical)等游離基反應，而降低營養素活性。另外，維生素C與維生素E對於細胞膜抗氧化作用具有加乘作用(Chan, 1993)，維生素C能使細胞膜上被氧化的維生素E還原而獲得再生，降低維生素E自由基(tocopheroxyl radical)之形成，促使維生素E恢復原有生理活性，而維生素C本身所形成維生素C自由基(ascobrate radical, semidehydroascobrate)則被NADH-dependent semidehydro-ascobrate reductase還原(Green and O'Brien, 1973; Burton and Ingold, 1984; Niki, 1987; Sies et al., 1992)。

在水產動物方面，維生素C與維生素E在體內之交互作用並未被廣泛討論。餵食虹鱒含高量之氧化油脂時，肝臟之維生素C含量顯著降低，原因可能是由於維生素C保護魚體中的維生素E (Hung and Slinger, 1980)。而筆者研究室之研究結果亦發現，餵食吳郭魚維生素C (ascorbic acid, C1)或是維生素C衍生物—單磷酸鎂維生素C (L-ascorbyl-2-monophosphate-Mg, C2MP-Mg)，皆具有維生素E節省作用(shiau and Hsu, 2002)。另外在草蝦實驗亦發現，草蝦餵與高含量C1或C2MP-Mg，不僅提高體組織之維生素E含量，並降低肝胰臟之TBA (thiobarbituric acid)值，其效性為C1>C2MP-Mg (Hsu, 1998)。維生素C及其各種衍生物之全名及縮寫見表一。

表一、維生素C及其衍生物全名與其縮寫對照表

Vitamin C衍生物	英文全名	縮 寫
維生素C	Ascorbic acid	C1
硫酸態維生素C	L-ascorbyl-2-sulfate	C2S
多磷酸態維生素C	L-ascorbyl-2-polyphosphate	C2PP
單磷酸鈉維生素C	L-ascorbyl-2-monophosphate-Na	C2MP-Na
單磷酸鎂維生素C	L-ascorbyl-2-monophosphate-Mg	C2MP-Mg

維生素C可將鐵離子還原成較容易吸收的亞鐵離子，增加鐵的吸收，因此，當維生素C缺乏時，容易造成血液生理的異常症狀(Smith and Bidlack, 1980)。和陸地動物一樣，維生素C參與水產動物體內鐵的代謝作用，對於陸地動物而言，研究結果認為維生素C可促進鐵的吸收，而在水產動物實驗中也發現相同的結果。虹鱒在缺乏維生素C狀態下，會造成死亡率提高、成長較差、血液及肌肉鐵含量降低、血清中鐵含量及血比容降

低等症狀(Hilton et al., 1978)。而鯰魚與snakehead，在缺乏維生素C時，同樣會造成血紅素與血球比容值降低的結果(Andrews and Murai, 1975; Lovell and Lim, 1978; Agrawal and Mahajan, 1980)。另外也有報告指出，虹鱒飼料中添加的鐵質，會影響維生素C的代謝(Desjardins, 1985)，可能與鐵的添加，造成飼料中脂肪氧化以及維生素C的不安定性有關(Hilton, 1989)。而且筆者之實驗室發現，草蝦與維生素C衍生物之硫酸態維生素C (L-ascorbyl-2-sulfate, C2S)、多磷酸態維生素C (L-ascorbyl-2-polyphosphate, C2PP)以及單磷酸鎂維生素C (L-ascorbyl-2-monophosphate-Mg, C2MP-Mg)，對於鐵的吸收皆具有協同作用，其效性為 $C2MP-Mg = C2PP > C2S$ (Hsu and Shiau, 1999b)。

維生素C和銅雖然對於動物之成長皆具有極重要之角色，但是維生素C在陸地動物中，例如雞(Carlton and Henderson, 1965; Hill and Starcher, 1965)、兔子(Hunt and Carlton, 1965; Hunt et al., 1970)、老鼠(Van Campen and Gross, 1968)、天竺鼠(Milne and Omaye, 1980)以及人類(Finley and Cerklewski, 1983)，皆已被確認具有銅拮抗作用。儘管維生素C衍生物對於草蝦有較佳的安定性以及較好的生物利用率，然而在筆者研究室草蝦之維生素衍生物利用性的營養研究中卻發現，維生素C衍生物(C2S, C2PP, C2MP-Mg)對於草蝦體內銅的吸收具有不同程度的拮抗作用，而且銅與其他礦物質的吸收也存在著交互作用(Hsu and Shiau, 1999b)。因此探討維生素C衍生物與營養素間的交互作用，是一個有趣且重要的課題。

在腎上腺皮質部(adrenal cortex)含有高濃度的維生素C，當腺體受到腎上腺皮質促進素(adrenocorticotrophic hormone)激化時，會分泌出大量的腎上腺皮質激素(adrenocortical hormone)，同時腎上腺皮質部維生素C含量迅速流失，在緊迫因子(stress)提高時，腎上腺皮質部維生素C含量降低情形更為顯著，顯示維生素C於對抗緊迫因子機制中，扮演重要角色。

維生素C除了維持陸地動物生長所需，對於維持動物體的免疫系統功能也扮演重要的角色。補充維生素C促進抵抗疾病第一道防線之皮膚和黏膜膠原蛋白合成，增加干擾素(interferon)(Siegel, 1974)以及補體-C1q (complement)的生成(Johnston, 1985)，提高嗜中性白血球(neutrophil)趨化作用(chemotaxis)活性以及防止嗜中性白血球受到胞外自由基的攻擊(Anderson, 1981; Panush and Delafuente, 1985)。而對於水產動物而言，Halver

(1989)曾指出維生素C對於維持大部分魚種正常的生長和維持生理功能的必需性。研究結果亦顯示，提高飼料中維生素C的含量，可以提高魚體之補體活性、白血球吞噬能力、抗體產量和細胞激素(cytokine)產量以及淋巴球增生能力(Li and Lovell, 1985; Liu et al., 1989; Navarre and Halver, 1989; Thompson et al., 1993)，並且增加鯰魚(Durve and Lovell, 1982; Li and Lovell, 1985; Liu et al., 1989)，虹鱒(Navarre and Halver, 1989; Suzuki and Ai, 1989; Wahli et al., 1995)以及大西洋鮭魚(Hardie et al., 1991)對於感染性疾病的抵抗力。

3-10. 膽鹼(choline)

膽鹼早在1862年由德國化學家Strecker發現並由豬隻的膽汁分離出來，並歷時13年研究後才命名為膽鹼且歸類為維生素B群。1866年，Baeyer以人工合成膽鹼，至此膽鹼的構造才被確定。其在人體中為重要營養素，又稱類維生素，具有重要的生理功能，是體內重要結構組成成份之一，諸如細胞膜結構phosphatidylcholine、lyso-phosphatidylcholine和sphingomyelin以及體液原素plasmalogen和神經傳遞物質acetylcholine等。

膽鹼為四級氮結構(trimethyl-beta-hydroxyethylammonium)，並且廣泛存在動、植物中。膽鹼為固體結晶，pH 8~9，choline與磷酸親和力之Km值為30 μM (Zeisel, 1990)，於自然界中吸濕性大，為無色水溶性，常態下呈粘稠狀液體，遇熱即行分解，故在食物中多半以複合物形式存在，僅少部份以游離型膽鹼的形式存於食物當中。

食物中膽鹼經消化吸收後，儲存各器官內，再依體內生理需要進行各種不同之異化代謝途徑，而主要的代謝有乙醯化作用(acetylation)、氧化作用(oxidation)和磷酸化作用(phosphorylation)。

此外，膽鹼在人體內可經同化作用由methylation pathway和CDP pathway (cytidine diphosphocholine pathway)生合成PLC (phosphatidylcholine)，PLC稱磷脂膽鹼或卵磷脂。卵磷脂與細胞膜的生成及脂質的運輸有關，Yao和Vance (1988)實驗證明，肝臟所分泌的極低密度脂蛋白(very low density lipoprotein, VLDL)需活化的PLC，經由CDP pathway或methylation pathway來合成。因此，肝臟在合成三酸甘油酯後需送至肝外，這種輸送即需靠膽鹼所形成的磷脂質，若缺乏膽鹼時容易造成脂肪肝現象，所以膽鹼被稱為趨脂因子之一。

膽鹼在體內不同組織的異化作用是為因應生理機能所需，而膽鹼在體內扮演角色主要是依其在體內衍生物所發揮的功能。膽鹼及其衍生物之生理功能如表二所示(Zeisel, 1994)。

表二、膽鹼及其衍生物之生理功能¹

衍生物	生理功能
choline	膽鹼，為趨脂因子，可提供甲基
betaine	1. 甲基提供者 2. 腎透析
acetylcholine	為神經傳導物質
phosphatidylcholine	1. 細胞膜組成份 2. 肝中分泌VLDL成分之必須物
platelet-activating factor	為PAF (血小板活化因子)，具有荷爾蒙之功用
lysophosphatidylcholine	調節PKC ² 活化之第二訊使
sphingomyelin	1. 腦神經髓鞘成分 2. 避免電子傳遞鏈系統漏電
lysosphingomyelin	調節生長激素之第二訊使
glycerophosphocholine	腎透析
phosphocholine	膽鹼內在細胞儲存形式

¹Source: Zeisel, 1994.

²PKC: phosphokinase C

3-11. 肌醇 (inositol)

Scherrer 在1850年由肌肉中分離出肌醇(inositol) (GRAS, 1973)。肌醇為一種白色結晶，具甜味，在自然狀態下以多種異構物狀態存在。如在動物組織中為磷脂質(phospholipids)，而在植物組織中則為植酸(phytic acid; 為肌醇的hexaphosphate ester化合物)型式。其中唯一具有生物活性的是myo-inositol (cis-1,2,3,5-trans-4,6-cyclohexanhexol)。肌醇和膽鹼一樣，在生物體內亦不具有輔酶之功能。同時在許多細胞中以磷脂質肌醇(inositol phosphoglyceride)型式存在。

近年來，部份研究發現磷脂質肌醇參與了一些代謝過程中的信號傳遞(Mathews and van Holde, 1990)。利用磷脂質肌醇系統在激素刺激下產生兩個二級訊號(secondary messengers)，而使細胞中內質網所儲存的鈣釋放出來，並利用激活蛋白激酶C (protein kinase C)使特定的蛋白質磷酸化，進而控制細胞內的過程，如：血小板凝集、胰島素釋放……等。

肌醇在生物體內的生化功能，除了作為代謝過程中的信號傳遞外，還

包括有：(1)構成細胞膜和脂蛋白的磷脂質成份(Chu and Hegsted, 1980)。(2)可作為趨脂因子(lipotropic factor)，同時肌醇的趨脂活性和膽鹼及其他脂蛋白成份具有相乘的作用(synergetic effect)。(3)維持plasma membrane的穿透選擇性，同時phosphatidylinositol的高度磷酸化形式(highly charged phosphorylated forms)可調節細胞表面現象(cell-surface phenomena)和作為二級訊息。(4)可調節細胞內鈣的流動性(mobilization)。利用"PI effect"對細胞膜的phosphatidylinositol turnover的增加而提高對細胞中鈣濃度的增加(Berridge and Irvine, 1984)。

4. 水產動物的維生素需求

水產動物對維生素的研究早在1941年就開始。美國Schnerger發現當長期以生鯉魚餵以虹鱒就會發生痲痹癱瘓的症狀，主要原因是鯉魚體內含有維生素B1分解酶(thiaminase)所引起的。約在1945~1947年間，McLaren等人以各種結晶維生素、酪蛋白、糊精、油脂以及蟹粉或乾肝粉做成試驗飼料，並以魚之成長(growth response)或飼料係數(food conversion)為指標，作出各種維生素之定性與定量需求。然而McLaren等人所訂定之需求結果往往偏低，這是因為他們沒考慮到蟹粉或肝粉中含有許多維生素。後來(約1950年) Wolf等人就以酪蛋白、膠蛋白、馬鈴薯澱粉、氫化棉子油、纖維素、礦物質、鱈魚肝油和結晶維生素群配成試驗飼料，而在1953年Halver將Wolf之配方加以改進後，一系列探討鱒魚對維生素之定量試驗。Phillips在1957年就已將鱒魚對維生素的需求做一個完整的歸納。

水產動物對維生素的需求會受到供試動物的大小、飼養環境、飼料組成及品質等因子所影響，且早期水產動物的營養研究並未代入明確的統計觀念，也鮮少考量營養素之間的交互關係。台灣Shiau等人從1990年起，開始建立吳郭魚及草蝦之維生素需求，除了考量統計觀念與營養素之間的交互關係外，更進一步採用成長表現外的生理指標，如代謝酵素活性或營養素蓄積量等，來評估水產動物對維生素的需求。對於吳郭魚與草蝦的維生素營養研究，所建立之維生素需求報告已漸趨於完整。

水產動物之營養研究自五零年代開始至今已五十年，不同種水產動物之間也有許多研究成果發表，以下除了針對水產動物對各種維生素缺乏與需求等分別介紹，同時也將近年一些水產動物維生素研究的發現作一整理論述。

4-1. 維生素A

當魚類缺乏維生素A時，會出現畏光(photophobia)、突眼(pop eye)、白內障(cataract)、網膜退化(degeneration of retina)等症狀，也會造成魚類生長遲緩與鰭部出血的現象。各魚種與蝦類之缺乏症分別列於表三。

表三、水產動物缺乏維生素A之症狀

Species	Deficiency	Reference
鯉魚(<i>Cyprinus carpio</i>)	厭食、體色變淡、皮膚與魚	Aoe et al., 1968
櫻花鮭 (<i>Oncorhynchus masou</i>)	鰭基部出血、眼球突出及鰓 蓋變形生長遲緩、體色褪	Taveekijakarn et al., 1994
孔雀魚(<i>Poecilia reticulata</i>)	淡、鰭部出血變紅及口鼻部 縮短、嚴重貧血成長不佳、	Shim and Tan, 1989
河魨(<i>Ictalurs punctatus</i>)	死亡率高、突眼、眼出血、	Dupree, 1970
虹 鱒(<i>Salmo gairdneri</i>)	濁眼 體色變淡、眼球突出、 體腔內水腫及腎出血貧血、 鰓蓋扭曲、眼和鰭基部出血	Kitamura et al., 1967a
美洲白蝦 (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	成長及存活率下降	He et al., 1992
斑節蝦 (<i>Marsupenaeus japonicus</i>)	成長下降、性腺發育不良	Alava et al., 1993
中國對蝦 (<i>Fenneropenaeus chinensis</i>)	複眼角膜軟化水腫、晶體變 形、組織間空隙大、空洞 多、髓體瘦小、組織潰瘍、 x-organ也不明顯	Chen and Li, 1994

一般淡水魚類對維生素A之需求量約為1,000~20,000 IU/kg diet，而海水魚如青甘鰺(*Seriola quinqueradiata*)則需19,000 IU/kg diet (表四)。在蝦類方面，Shiau和Chen (2000)指出草蝦(*P. monodon*)幼蝦之維生素A需求量为8,400 IU/kg diet。

表四、水產動物之維生素A需求

Species	Requirement (IU/kg diet)	Reference
河魨(<i>Ictalurs punctatus</i>)	1,000 – 2,000	Dupree, 1970

鯉魚(<i>Cyprinus carpio</i>)	4,000 – 20,000	Aoe et al., 1968
孔雀魚(<i>Poecilia reticulata</i>)	2,000 – 4,000	Shim and Tan, 1989
大西洋鮭魚(<i>Salmo salar</i>)	2,000 – 2,500	Halver, 1989
虹鱒(<i>Salmo gairdneri</i>)	2,500	Kitamura et al., 1967a
青甘鰲(<i>Seriola quinqueradiata</i>)	19,000	Shimeno, 1991
中國對蝦 (<i>Fenneropenaeus chinensis</i>)	120,000 – 180,000	Chen and Li, 1994
草蝦(<i>Penaeus monodon</i>)	8,400	Shiau and Chen, 2000

維生素A為一脂溶性維生素，故過多的攝取對生物是具有毒性的，對水產動物亦具有不良影響。虹鱒攝取過量的維生素A時，會有生長遲緩、死亡率增加、脊柱彎曲、魚鰭壞死的現象(Poston, 1971; Hilton, 1983)，若虹鱒攝食高蛋白質(Poston and Livingston, 1971)或高甲硫胺酸(Eckhert and Kemmerer, 1974)的飼料時，可以減少攝食過量維生素A的中毒現象。幼比目魚(*Paralichthys olivaceus*)攝取過多的維生素A有成長低落、短軀及不正常的骨骼形成(Dedi et al., 1995; Takeuchi et al., 1995)。Chen和Li (1994)指出過多的維生素A攝取，會造成中國對蝦(*Fenneropenaeus chinensis*)成長表現下降，亦會使小眼發生病變。

4-2. 維生素D

維生素D缺乏的症狀為低血鈣、低血磷、骨骼不正常礦化、抽搐、佝僂症等。水產動物雖然可以從水中吸收鈣離子，不過許多研究報告指出其飼料中仍需要額外添加維生素D。水產動物之維生素D缺乏症分述於表五。

表五、水產動物缺乏維生素D之症狀

Species	Deficiency	Reference
虹鱒(<i>Salmo gairdneri</i>)	存活率下降、血紅素下降、肝體比下降、腎壞死、肌肉痙攣、血中三碘甲狀腺素含量上升	McLaren et al., 1947; Ashley, 1972; Lovell, 1989; Post, 1987; Snieszko, 1972
河鱖(<i>Ictalurus punctatus</i>)	低骨灰份、生長差、	Robinson, 1984; Lovell, 1989; NRC, 1981
大鱗鮭魚(<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>)	生長下降、貧血、骨頭畸形、肌肉痙攣、減少鈣平衡、低骨灰份	Halver, 1982; Lovell, 1989
大西洋鮭魚(<i>Salmo salar</i>)	血紅素減少	Snieszko, 1972

各種不同水產動物對維生素D之需求分述於表六。魚類很早就被證實需要維生素D (McLaren, 1947)。雖然維生素D對甲殼動物的生理功能並未十分清楚，但Shiau和Hwang (1994)證實草蝦飼料中須額外添加維生素D，指出除了以蝦體增重率來評估維生素D之需求量外，亦可以肝胰臟中鹼性磷酸酶 (alkaline phosphatase) 活性作為指標估求維生素D需求，並以之求得草蝦最適維生素D需求量約為0.1 mg/kg diet之間。

表六、水產動物之維生素D需求

Species	Requirement (IU/kg diet)	Reference
雜交吳郭魚(<i>Oreochromis niloticus</i> × <i>O. aureus</i>)	374.8	Shiau and Hwang, 1993
鯉魚(<i>Cyprinus carpio</i>)	NR	NRC, 1983; Hephher, 1989
虹鱒(<i>Salmo gairdneri</i>)	1,600 – 2,400	McLaren, 1947
	800	Barnett et al., 1982a
	2,400	Hephher, 1989
鯰魚(catfish)	1,000 – 4,000	Andrews et al., 1980
	2,000	Lovell, 1989
	500 – 1,000	NRC, 1983
河鯰(<i>Ictalurs punctatus</i>)	500	Lovell, 1980
	500 – 1,000	Robinson and Wilson, 1985
	1,330	Hephher, 1989
鮭魚(salmon)	2,400	NRC, 1983
草蝦(<i>Penaeus monodon</i>)	0.1 (mg D3/kg)	Shiau and Hwang, 1994

NR: no requirement

維生素D為脂溶性維生素，魚類若攝食過多，會出現成長低落、不活潑及體色變暗等現象(Halver, 1972a; Robert and Shepherd, 1986)。其餘水產動物並未發現維生素D攝食過多的影響。

4-3. 維生素E

當維生素E缺乏時會造成鯉魚產生瘦脊病、肌肉纖維萎縮且排列不規則、血清蛋白質量的增加(Watanabe et al., 1970a)；草魚(*Ctenopharyngodon idellus*)產生瘦脊病、脊柱前彎(Takeuchi et al., 1992)；虹鱒產生嚴重抽筋、

死亡率增加、成長低下(Watanabe et al., 1981)；大鱗鮭魚(*Oncorhynchus tshawytscha*)產生眼球突出、腹水、紅血球脆弱、貧血、鰓絲呈棍棒狀、心臟內膜炎、胰臟有蠟樣色素(ceroid)沈積、成長低下(Woodall et al., 1964)。其他魚種如虹鱒、河魨(*Ictalurus punctatus*)、藍色吳郭魚(*Oreochromis aureus*)缺乏維生素E時，則有肌肉萎縮、缺乏體色、體表及鰭基部充血等症狀，嚴重甚至導致死亡。水產動物對維生素E缺乏之症狀列於表七。

表七、水產動物缺乏維生素E之症狀

Species	Deficiency	Reference
虹鱒(<i>Salmo gairdneri</i>)	存活及生長減低、貧血、腹水、紅	Watanabe et al., 1970b; Hamre and Lie, 1995
大西洋鮭魚(<i>Salmo salar</i>)	血球不成熟(即異形紅血球症)、紅 血球形狀易變(即紅血球大小不等 現象)、紅血球脆弱及斷裂、營養 性的肌肉萎縮、身體水分升高(及 滲出性素質)、脂質過氧化現象	
河魨(<i>Ictalurus punctatus</i>)	滲出性素質、色素減退、脂肪肝貧 血、死亡、成長差、肌肉萎縮肌肉	Wilson et al., 1984
藍色吳郭魚(<i>Oreochromis aureus</i>)	萎縮、缺乏體色、體表及鰭基部充 血	Roem et al., 1990a,b
大鱗鮭魚(<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>)	眼球突出、腹水、紅血球脆弱、鰓 絲呈棒棍狀、胰臟有ceroid 沉積	Woodall et al., 1964
鯉魚(<i>Cyprinus carpio</i>)	肌肉萎縮、死亡、成長差、突眼症 、脊椎前彎症、腎細胞退化、胰細 胞退化	Watanabe et al., 1970b

Cowey 等人(1983)指出以魚油(herring oil)為飼料中脂肪來源時，虹鱒最適維生素E需求量为5 mg dl- α -tocopherol/kg diet，而當提高飼料脂質含量為15%後，最適維生素E需求量为10 mg/kg diet。河魨餵食含5% (1% cod liver oil + 4% stripped lard)脂肪飼料後，在未添加維生素E組發現組織損傷，然而各組之間成長尚無顯著差異，僅在提供低維生素E的組別，產生紅血球溶血增加現象。並估計以50 mg/kg diet為其最低需求量(Wilson et al., 1984)。同時發現維生素E會影響魚死後肌肉的氧化安定性，以添加240 mg vitamin E/kg diet餵養六週或1,000 mg vitamin E/kg diet餵養兩週即可有效促進魚死後肌肉的氧化安定性(Gatlin et al., 1992; Bai and Gatlin, 1993)。雜交

吳郭魚(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)在以玉米油及鱈魚肝油(1:1)混合油，作為飼料脂質來源，其中的玉米油富含n-3脂肪酸，而魚油具有高度不飽和脂肪酸，以符合吳郭魚對必需脂肪酸的需求，結果發現5%油脂為符合最低需求之添加量；而添加量為12%時，則可達魚體的最大成長(Chou and Shiau, 1996)。因此，Shiau和Shiau (2001)做了更進一步的研究，發現在5%及12%油脂添加量下，雜交吳郭魚對維生素E的需求分別為42-45及60-67 mg/kg diet，顯示在不同的脂質添加量下，魚體對維生素E的需求也會隨之改變。對吳郭魚而言，飼料脂肪的多寡與維生素E的需求呈正相關性，同時當每提高1%脂肪時，其維生素E需求量就必須增加5~7 mg/kg diet。在抗氧化的過程中，維生素E與硒在魚類營養上具有相乘作用(Hilton, 1989)，硒經由麩胱甘肽過氧化酶而顯出其主要效應，而維生素E則是膜鍵結的抗氧化劑和自由基(free radical)的清除者。因此這兩種營養素共同保護生物細胞膜，以對抗油脂氧化作用(Bell et al., 1985a; Murata et al., 1996)。硒之另一重要功能為參與魚體之解毒作用，與銅在於體之解毒作用扮演相同之角色，但其機制仍存於假說之階段，須進一步的探討。在虹鱖的肝臟中，硒與銅的含量有很強之正相關性(Lanno et al., 1987)，魚體中硒與銅代謝互相作用實形成結構緊密之複合體(complex)，使得硒與銅之生物可利用性降低，即使在飲食中提供足夠的硒也會因銅含量高及銅代謝增加而造成硒缺乏之現象(Hilton, 1989)，此亦可用來解釋即使飲食中提供足夠量的維生素E與硒，仍有可能因水源中的銅含量而造成維生素E缺乏症之產生，如瘦脊病(Salte et al., 1988)。

在蝦類營養方面，維生素E可以防止高度不飽和脂肪酸在細胞膜上被氧化。雖然蝦類對維生素E之需求量研究尚不完整，但基於蝦類需要高度不飽和脂肪酸之情況下，維生素E在蝦飼料中的添加是有必要的，因為一般而言，飼料中不飽和脂肪酸之含量及氧化程度會影響維生素E的需求量。Kanazawa (1985)指出斑節蝦(*Marsupenaeus japonicus*)對維生素E的最適需求量為200 mg vitamin E/kg diet。美洲白蝦(*Litopenaeus vannamei*)以3%玉米油及4%魚油作為飼料油脂來源，其維生素E最適需求量為99 mg/kg diet，而當飼料中維生素E的添加量為25 mg/kg diet時可預防粒線體膜(mitochondria membrane)之氧化；添加量為100 mg/kg diet時可預防微粒體膜(microsomal membrane)之氧化，以及可預防-60℃凍藏時的氧化還有飼料脂

質的氧化(He and Lawrence, 1993a)。Hsu (1998)針對草蝦體內維生素C及維生素E之間的交互作用做進一步的研究，發現當添加維生素C (C1)及單磷酸維生素C衍生物(C2MP-Mg)作為來源時，高含量之C1或C2MP-Mg能提高草蝦體組織維生素E之含量而具有維生素E之節約作用及降低肝胰臟之TBA值，其效性為C1>C2MP-Mg。同時實驗中草蝦的維生素E來源為dl- α -tocopherol，在肌肉與肝胰臟分析時，其維生素E均以dl- α -tocopherol形態存在(Hsu and Shiau, 1999b)，此為另一發現。然而草蝦對dl- α -tocopherol的吸收與利用之機制仍須進一步探討。

魚類對維生素E的需求量會受到許多因素之影響，如：魚苗馴養期間飼料中維生素E含量、實驗前魚體大小、飼料的配方與製造方法、餵食方式、水溫、飼料中抗氧化劑添加量……等。各種水產動物對維生素E之需求分別列於表八。

表八、水產動物之維生素E需求

Species	Lipid level	Requirement (mg/kg diet)	Reference
河鱖 (<i>Ictalurs punctatus</i>)		25	Murai and Andrews, 1974
	5% (1% cod liver oil, 4% lard)	50	Wilson et al., 1984
鯉魚 (<i>Cyprinus carpio</i>)	5% cod liver oil	100	Watanabe et al., 1970b
大西洋鮭魚 (<i>Salmo salar</i>)		35	Lall et al., 1988
	5.6% PUFAs	60	Hamre and Lie, 1995
大鱗鮭魚 (<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>)	5% herring oil	30	Woodall et al., 1964
虹鱒 (<i>Salmo gairdneri</i>)	15% herring oil	100	Watanabe et al., 1981
藍色吳郭魚 (<i>Oreochromis aureus</i>)	3% corn oil	10	Roem et al., 1990a,b
	6% corn oil	25	
紅色吳郭魚 (<i>Oreochromis niloticus</i>)	6% lard	25	Lam, 1985
雜交吳郭魚 (<i>Oreochromis niloticus</i> $\times$ <i>O. aureus</i>)	5%	42-45	Shiau and Shiau., 2001
	12%	60-67	
Sunshine bass (<i>Morone chrysops</i> $\times$ <i>M. saxatilis</i>)		28	Kocabas and Gatlin, 1999
Korean rockfish (<i>Sebastes schlegeli</i>)	10%	45	Bai and Lee, 1998

草蝦(<i>Penaeus monodon</i>)	5%	200	Takeuchi et al., 1992
美洲白蝦(<i>Litopenaeus vannamei</i>)	8%	99	He and Lawrence, 1993a
斑節蝦(<i>Marsupenaeus japonicus</i>)		200	Kanazawa, 1985

4-4. 維生素K

動物腸道內之細菌可生合成維生素K，但有些冷水肉食性魚類腸內細菌所合成的量似乎不足，所以必須在飼料中額外添加。陸上動物對維生素K之缺乏症，在於影響凝血功能，一般魚類的缺乏症有貧血、延長凝血時間(Halver, 1989)。虹鱔被發現有低肝體比及貧血現象(Kitamura et al., 1967b)；河魨出現皮膚出血的現象(NRC, 1983)。

鮭魚和鱒魚被證實飼料中有添加維生素K的必要(Halver, 1989)，蝦類也有研究指出須額外添加維生素K (Shiau and Liu, 1994a,b)，各種水產動物對維生素K的需求分別列於表九。

表九、水產動物之維生素K需求

Species	Requirement (mg/kg diet)	Reference
鮭魚(<i>salmon</i>)	10	Halver, 1989
鱒魚(<i>trout</i>)	10	Halver, 1989
湖鱒(<i>Salvelinus namaycush</i>)	0.5-1	Poston, 1976a
鱈魚(<i>Gadus morhua</i>)	0.2	Grahl-Madsen and Lie, 1997
河魨(<i>Ictalurs punctatus</i>)	NR	Murai and Andrews, 1977
鯉魚(<i>Cyprinus carpio</i>)	NR	NRC, 1983
草蝦(<i>Penaeus monodon</i>)	30-40	Shiau and Liu, 1994a
中國對蝦(<i>Fenneropenaeus chinensis</i>)	185	Shiau and Liu, 1994b

NR: no requirement

4-5. 維生素B1

葡萄糖為生物體腦部及神經系統能量的主要的來源，而維生素B1在碳水化合物代謝中扮演輔酶的角色，此外維生素B1亦會參與神經傳導物質乙醯膽鹼之合成，因此若B1缺乏時，則無法正常供應中樞神經系統能量來源。在陸上動物中，B1缺乏所產生的症狀如腳氣病(beriberi)，會造成反射動作不正常、麻木感及末梢神經炎。而在水產動物B1缺乏情形列於表十，

大部分發生食慾不振、成長低下及其神經系統失常導致運動失調、痙攣等現象。

表十、水產動物缺乏維生素B₁之症狀

Species	Deficiency	Reference
鯉魚(<i>Cyprinus carpio</i>)	厭食、神經過敏、體色素減退	Aoe et al., 1967a
虹鱒(<i>Salmo gairdneri</i>)	厭食、不正常抽搐、體色變暗	Morito et al., 1986
河魨(<i>Ictalurs punctatus</i>)	厭食、成長低落、體色變暗、失去平衡感	Murai and 1978a
大西洋鮭魚(<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>)	食慾變差、肌肉萎縮、平衡感不正常或喪失	Halver, 1957
日本鰻(<i>Anguilla japonica</i>)	食慾變差、成長低落、魚鰭充血或出血、運動失調、體幹彎曲	Hashimoto et, al.1970
草蝦(<i>Penaeus monodon</i>)	厭食、成長低落、死亡率增加	Chen et al, 1991

在Murai 和Andrews (1978a)的研究中發現河魨對B₁之最適需求量為1.0 mg/kg diet。此外鯉魚、虹鱒、紅色雜交吳郭魚(*Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*)、大比目魚(*Scophthalmus maximus*)、大鱗鮭魚(*Oncorhynchus tshawytscha*)、草蝦及斑節蝦的維生素B₁需求量亦皆被訂出(表十一)。

表十一、水產動物之維生素B₁需求

Species	Requirement (mg/kg diet)	Reference
鯉魚(<i>Cyprinus carpio</i>)	0.5	Aoe et al., 1969
河魨(<i>Ictalurs punctatus</i>)	1.0	Murai and Andrews, 1978a
虹鱒(<i>Salmo gairdneri</i>)	1.0	Morito et al., 1986
紅色雜交吳郭魚(<i>Oreochromis mossambicus</i> × <i>O. niloticus</i>)	2.5	Lim and Leamaster, 1991
青甘鰺(<i>Seriola quinqueradiata</i>)	11.2	Shimeno, 1991
大比目魚(<i>Scophthalmus maximus</i>)	0.6-2.6	Cowey et al., 1975
大鱗鮭魚(<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>)	10-15	Halver, 1972a
草蝦(<i>Penaeus monodon</i>)	13-14	Chen et al., 1991
斑節蝦(<i>Marsupenaeus japonicus</i>)	60-120	Deshimaru and Kuroki, 1979

4-6. 維生素B₂

魚類維生素B₂缺乏症的研究始於1960～1970年代。Murai和 Andrews (1978b)的研究中發現，以缺乏B₂的飼料餵食河魴二十週後，魚體呈現侏儒症、成長低下及食慾不振等現象，其他水產動物維生素B₂缺乏症列於表十二。

表十二、水產動物缺乏維生素B₂之症狀

Species	Deficiency	Reference
鯉魚(<i>Cyprinus carpio</i>)	皮膚與鰭的出血、 厭食、成長低落	Takeuchi et al., 1980
河魴(<i>Ictalurs punctatus</i>)	侏儒症、成長低下及食 慾不振、降低肝臟中D- aminoacid oxidase	Serrini et al., 1996
藍色吳郭魚 (<i>Oreochromis aureus</i>)	不活潑、鰭破裂、厭食、 短軀、白內障	Soliman and Wilson, 1992a
虹鱒(<i>Salmo gairdneri</i>)	厭食、成長低落、鰭損傷 、白內障	Takeuchi et al., 1980
紅色雜交吳郭魚(<i>Oreochromis mossambicus</i> × <i>O. niloticus</i>)	短軀、厭食、成長低落	Lim et al., 1993
大鱗鮭魚(<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>)	游泳不平衡、皮膚變黑	Halver, 1957
日本鰻(<i>Anguilla japonica</i>)	全身出血、神經質、畏光	Arai et al., 1972
草蝦(<i>Penaeus monodon</i>)	蝦頭長與體長比率降低	Chen and Hwang, 1993

在Serrini等人(1996)的研究中發現，在飼料中添加4 mg B₂/kg diet 餵食河魴時，其能維持正常生長且不致產生缺乏症，而飼料中添加6 mg B₂/kg diet 時，河魴可達到最大之成長，此外在鯉魚、虹鱒、吳郭魚、草蝦及斑節蝦皆有維生素B₂之最適需求量(表十三)。

表十三、水產動物之維生素B₂需求

Species	Requirement (mg/kg diet)	Reference
鯉魚(<i>Cyprinus carpio</i>)	4	Aoe et al., 1967
	7	Takeuchi et al., 1980
河魴(<i>Ictalurs punctatus</i>)	6	Serrini et al., 1996

大鱗鮭魚(<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>)	20-25	Halver, 1972a
虹鱒(<i>Salmo gairdneri</i>)	3-6	Woodward, 1983
紅色雜交吳郭魚(<i>Oreochromis mossambicus</i> × <i>O. niloticus</i>)	5	Lim et al., 1993
藍色吳郭魚(<i>Oreochromis aureus</i>)	6	Soliman and Wilson, 1992a
草蝦(<i>Penaeus monodon</i>)	22.5	Chen and Hwang, 1992
斑節蝦(<i>Marsupenaeus japonicus</i>)	80	NRC, 1983

4-7. 泛酸

水產動物缺乏泛酸時，主要會導致正常代謝的失調，含大量粒腺體的細胞會快速行有絲分裂及高能量的消耗，而造成肝臟、鰓、腎小管、胰腺細胞等需要高能量參與的器官產生病變。除了造成生長遲緩、厭食、不正常游泳行為以及死亡以外，以棒狀鰓(clubbed gill)最具代表性(NRC, 1981; Wilson et al., 1983; Butthep et al., 1985)。鰓病在最初被認為是細菌性病因所引起，後來查明為泛酸缺乏所致(Ashley, 1972; Bell et al., 1985bc; Poston and Page, 1982)。營養性鰓疾病是由鰓葉的底部開始增生，與水品質不佳所造成的由鰓葉頂端增生的現象不同(Ashley, 1972; Bell et al., 1985b,c; Poston and Page, 1982)。缺乏泛酸對於細菌的感染有增加的趨勢，亦有推論認為這是因為泛酸缺乏改變了鰓或肝臟中的脂肪代謝，造成膜脂肪的組成份不正常。鰓病症狀為鰓葉上皮肥大，鰓葉產生黏連現象，最後引起呼吸困難而死亡(Wood and Yasutake, 1957)。

泛酸在魚類的研究中已被確定為生長所必需的營養素(Phillips et al., 1945; McLaren et al., 1947; Halver, 1957; Ogino, 1967; Murai and Andrews, 1979; NRC, 1981)，Fisher (1960)也指出甲殼動物飼料中需要添加維生素B群，水產動物對泛酸之需求量綜合於表十四。

表十四、水產動物之泛酸需求

Species	Requirement (mg/kg)	Reference
虹鱒(<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	10-20	McLaren et al., 1947
	20	Cho and Woodward, 1990
藍色吳郭魚(<i>Oreochromis aureus</i>)	10	Roem et al., 1991; Soliman and Wilson., 1992b

河魨(<i>Ictalurus punctatus</i>)	15	Wilson et al., 1983
河魨(<i>Ictalurus punctatus</i>)	10	Murai and Andrews, 1979
鯉魚(<i>Cyprinus carpio</i>)	30-50	Ogino, 1967
太平洋鮭魚(<i>Oncorhynchus spp</i>)	40-50	Halver, 1972a
青甘鰺(<i>Seriola quinqueradiata</i>)	35.9	Shimeno, 1991
嘉鱚(<i>Chrysophrys major</i>)	10	Yano et al., 1988
Mexican cichlid (<i>Cichlasoma urophthalmus</i>)	80	Martinez et al., 1990
斑節蝦(<i>Marsupenaeus japonicus</i>)	NR	Kanazawa, 1985
草蝦(<i>Penaeus monodon</i>)	101-139	Shiau and Hsu, 1999a

NR: no requirement

4-8. 菸鹼酸

一般陸上動物能將色胺酸(tryptophan)轉為菸鹼酸，但在水產動物這種轉換機制有所限制。水產動物缺乏菸鹼酸會造成成長發育上的影響。水產動物菸鹼酸之缺乏症如表十五所列。

表十五、水產動物缺乏菸鹼酸之症狀

Species	Deficiency	Reference
虹鱒(<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	鰓部種大，但不會結成棒狀	McLaren et al., 1947
大鱗鮭魚 (<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>)	運動失調、大腸損傷、肌肉痙攣、大腸與胃部水腫	Halver, 1957
鯉魚(<i>Cyprinus carpio</i>)	魚體表出血、高死亡率	Aoe et al., 1967c
日本鰻(<i>Anguilla japonica</i>)	運動失調、貧血、魚鰭破損、魚體表破損且出血	Arai et al., 1972
河魨(<i>Ictalurus punctatus</i>)	高死亡率、貧血、魚鰭及魚體表破損且出血、下顎萎縮並變形、突眼症	Andrews and Murai, 1978
塘虱魚(<i>Clarias batrachus</i>)	肌肉僵直、失去平衡感、在水中打轉、昏睡症、魚體表及魚鰭出血	Butthep et al., 1985
雜交吳郭魚(<i>Oreochromis niloticus</i> × <i>O. aureus</i>)	高死亡率、貧血、魚鰭破損、魚體表破損且出血、體表黏液異常增生	Shiau and Suen, 1992

目前已知水產動物之菸鹼酸需求量則如表十六所示。菸鹼酸所形成的輔 所參與體內生化反應皆與能量代謝有關，尤其是碳水化合物代謝，例如糖解作用(glycolysis)、pyruvate dehydrogenase complex 活性、克伯式循環(Kerb's cycle)、五碳糖循環(pentose phosphate pathway)到電子傳遞鏈(electron transport)和氧化磷酸化(phosphorylation)等化學反應。魚類對碳水化合物的利用與陸上動物相較有甚大之差異，一般而言，魚類對分子結構複雜之碳水化合物，例如澱粉或糊精的利用優於對分子結構簡單之碳水化合物，例如葡萄糖的利用(Furuichi and Yone, 1982a,b; Anderson et al., 1984; Tung and Shiau, 1991; Shiau and Chen, 1993; Shiau and Lin, 1993)。因此水產動物對菸鹼酸的需求量是否會因飼料中碳水化合物形態之不同而不同，是一有趣之課題。Shiau和Suen (1992)首度指出，當吳郭魚給予葡萄糖為碳水化合物來源時，其對菸鹼酸的最適需求量26 mg/kg diet；而當給予糊精為碳水化合物來源時，其菸鹼酸需求量則為121 mg/kg diet。顯示吳郭魚對菸鹼酸的需求，會因對飼料中碳水化合物型態的不同而有所差異。

表十六、水產動物之菸鹼酸需求

Species	Requirement (mg/kg diet)	Reference
虹鱔(<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	1-5	McLaren et al., 1947
	10	Poston and Wolfe, 1985
河魨(<i>Ictalurus Puncatatus</i>)	14	Andrews and Murai, 1978
	7.4	Ng et al., 1997
鯉魚(<i>Cyprinus carpio</i>)	28	Aoe et al., 1967b
青甘鰲(<i>Seriola quinqueradiata</i>)	12	Shimeno, 1991
雜交吳郭魚(<i>Oreochromis niloticus</i> × <i>O. aureus</i>)	26 (glucose) 121 (dextrin)	Shiau and Suen, 1992
印度魨魚(<i>Heteropneustes fossilis</i>)	25	
斑節蝦(<i>Marsupenaeus japonicus</i>)	400	NRC, 1983
草蝦(<i>Penaeus monodon</i>)	7.18	Shiau and Suen, 1994

4-9. 維生素B6

水產動物對維生素B6之缺乏症歸納於表十七所示。魚類缺乏維生素B6時，其症狀主要為神經性障礙，如：平衡失調、抽搐、不正常游動等

(Ikeda et al., 1988; Kissil et al., 1981; Kitamura et al., 1967b; Wu, 2000)。
Catacutan 和 De la Cruz 於 1989 年的研究結果顯示，當草蝦維生素 B6 缺乏時，其中腸腺內腔表皮細胞呈現壞死；而 Deshimaru 和 Kuroki (1979) 則發現斑節蝦在維生素 B6 缺乏時會有高死亡率的現象。

表十七、水產動物缺乏維生素 B6 之症狀

Species	Deficiency	Reference
虹鱒(<i>Salmo gairdneri</i>)	腸胃道、腎臟、肝臟、胰臟及胸腺出現損害且有正常血球大小、正常血色素貧血(normocytic normochromic anemia)、厭食、精神不佳、瘋狂不規則游動及運動失調、低成長、高死亡率、正常食慾、激烈螺旋式游動	Smith et al., 1974; Hardy et al., 1987; Kitamura et al., 1967b Herman, 1985
大西洋鮭魚(<i>Salmo salar</i>)	死亡率增加，行為改變，腎、卵巢及肝退化；腎造血組織增殖	
虎河豚(<i>Takifugu rubripes</i>)	增重率降低	Kato et al., 1994
藍點石斑(<i>Channa punctatus</i>)	成長遲緩、不正常色素沈積於水晶體進而導致全盲，死亡率增加，亦有小球型低血紅素貧血(hypochromic microcytic anaemia)及白血球減少症(Leukopenia)，其行為亦有運動失調、激烈擾動等	Agrawal and Mahajan, 1983
紅色雜交吳郭魚 (<i>Oreochromis mossambicus</i> × <i>O. niloticus</i>)	運動失調、抽搐、高死亡率，嚴重尾鰭潰爛、破嘴，成長、飼料轉換率均較差	Lim et al., 1995
鸚鵡魚(<i>Oplegnathus faciatus</i>)	食慾降低、不正常游動、平衡失調、運動失調、成長低下、高死亡率	Ikeda et al., 1988
金頭鯛(<i>Sparus aurata</i>)	生長遲緩、高死亡率、低飼料轉換率、高度擾動及不規則游動、周邊神經退化現象	Kissil et al., 1981
河魨(<i>Ictalurs punctatus</i>)	運動失調、神經失調、抽搐、藍綠體色	Andrews and Murai, 1979

青魚(<i>Clupea harengus</i>)	不規則游動、厭食、魚體肌肉斷續性抽筋、螺旋式游動、短時間發生死亡	Blaxter et al., 1974
青甘鯨(<i>Seriola quinqueradiata</i>)	運動失調、神經失調、高死亡率、成長低下、嘴部受傷、凸眼症、脊柱側彎	Sakaguchi et al., 1969
鯉魚(<i>Cyprinus carpio</i>)	降低增重、高死亡率、神經失調	Ogino, 1965
草蝦(<i>Penaeus monodon</i>)	腸線內腔表皮細胞呈現壞死	Catacutan and De la Cruz, 1989
斑節蝦(<i>Marsupenaeus japonicus</i>)	生長遲緩及高死亡率	Deshimaru and Kuroki, 1979

水產動物對維生素B6的需求會隨養殖的種類、魚體及蝦體的大小、飼養環境及飼料組成而有所不同。飼料中蛋白質含量應會影響動物體之維生素B6的需求，一般而言，高蛋白質飲食伴隨較高維生素B6的需求，以增加轉胺酵素的活性。Shiau和Hsieh於1997年的報告中指出，分別給予雜交吳郭魚28%和36%的蛋白質時，其維生素B6的需求量分別為1.7-9.5 mg B6/kg和15.0-16.5 mg B6/kg，且肝臟中的轉胺酵素活性亦會隨著維生素B6添加量的增加而上升。Wu (2000)在瑪拉巴石斑魚(*Epinephelus malabaricus*)和草蝦的實驗中亦有相似的結果。水產動物對維生素B6的需求整理於表十八。

表十八、水產動物之維生素B6需求

Species	Requirement (mg/kg diet)	Reference
鯉魚(<i>Cyprinus carpio</i>)	5-6	NRC, 1983
嘉鱾(<i>Chrysophrys major</i>)	5-6	NRC, 1983
河魨(<i>Ictalurs punctatus</i>)	3	Andrews and Murai, 1979
大比目魚(<i>Scophthalmus maximus</i>)	1-2.5	Adron et al., 1978
金頭鯛(<i>Sparus auratus</i>)	1.96	Kissil, 1981
大西洋鮭魚(<i>Salmo salar</i>)	5	Lall and Weerakoon, 1990
河鱒(<i>Salvelinus fontinalis</i>)	10-15	Halver, 1972a
褐鱒(<i>Salmo trutta</i>)	10-15	Halver, 1972a
大鱗鮭魚(<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>)	15-20	Halver, 1972a
銀鮭魚(<i>Oncorhynchus kisutch</i>)	15-20	Halver, 1972a
虹鱒(<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	2	Woodward, 1989

雜交吳郭魚(<i>Oreochromis niloticus</i> × <i>O. aureus</i>)	1.7-9.5 (28% CP) 15.0-16.5 (36%CP)	Shiau and Hsieh, 1997
紅色雜交吳郭魚(<i>Oreochromis mossambicus</i> × <i>O. niloticus</i>)	3	Lim et al., 1995
瑪拉巴石班(<i>Epinephelus malabaricus</i>)	1.27-2.89	Wu., 2000
青甘鰺(<i>Seriola quinqueradiata</i>)	3	Shimeno, 1991
印度鯰魚(<i>Heteropneustes fossilis</i>)	3.21	Mohamed., 2001
斑節蝦(<i>Marsupenaeus japonicus</i>)	120	Deshimaru and Kuroki, 1979
草蝦(<i>Penaeus monodon</i>)	105.10-131.50	Wu., 2000

CP: crude protein

4-10. 生物素

一般而言，不論是溫水魚(鯉、鯰、吳郭魚)或冷水魚(鮭、鱒)在缺乏生物素時，都會有生長較差的現象如：虹鱒在缺乏生物素時會有生長遲緩、厭食等症狀(Castledine et al., 1978)；河鯰在缺乏生物素時會有生長速率降低、貧血及肝臟中酵素活性降低(Lovell and Buston, 1984)。水產動物缺乏生物素之症狀如表十九所示。

表十九、水產動物缺乏生物素之症狀

Species	Deficiency	Reference
湖鱒(<i>Salvelinus namaycush</i>)	成長較差，游泳遲緩及肝中會有 glycogen-type 的濾泡產生	Poston, 1976b; Poston and Page, 1982
河鱒(<i>Salvelinus fontinalis</i>)	成長較差，游泳遲緩及肝中會有 glycogen-type 的濾泡產生，另有 blue slime disease 產生且肝中的 acetyl CoA 及 pyruvate carboxylase 活性也有降低的情形	Poston and McCartney, 1974
虹鱒(<i>Salmo gairdneri</i>)	厭食、棒狀鰓產生成長較差、皮膚顏色變淡、衰弱、死亡率增高	Castledine et al., 1978 Woodware and Frigg, 1989
鯉魚(<i>Cyprinus carpio</i>)	生長遲緩，鰓葉上皮肥大，鰓葉產生黏連現象，最後引致呼吸困難而造成死亡	Ogino et al., 1970a

日本鰻(<i>Anguilla anguilla</i>)	生長較差及不正常的游動行為	Lovell and Buston, 1984
河魨(<i>Ictalurs punctatus</i>)	貧血、生長情形變差、皮膚顏色變淡、過度敏感、肝中pyruvate carboxylase活性的降低	Robinson and Lovell, 1978; Lovell and Buston, 1984
塘虱魚(<i>Clarias batrachus</i>)	厭食、抽筋	Mohamed et al., 2000

目前對於水產動物對生物素需求量的研究指出鯉魚對於生物素的需求量為0.02~0.03 mg/kg (Ogino et al., 1970a)；湖鱒(*Salvelinus namaycush*)對生物素的最適需求量約為0.1 mg/kg (Poston, 1976b)。而蝦類對生物素的研究並不多見，僅有Shiau和Chin (1998)指出草蝦之生物素最適需求量為2.0~2.4 mg/kg diet。表二十所示的為目前已知水產動物對生物素之需求量。

表二十、水產動物之生物素需求

Species	Requirement (mg/kg diet)	Reference
湖鱒(<i>Salvelinus namaycush</i>)	0.1	Poston, 1976b
虹鱒(<i>Salmo gairdneri</i>)	0.25	Castledine et al., 1978
	0.08	Woodware and Frigg, 1989
鯉魚(<i>Cyprinus carpio</i>)	0.02-0.03	Ogino et al., 1970a
	2.0-2.5	Gunther and Meyer-Burgdorff, 1990
河魨(<i>Ictalurs punctatus</i>)	NR	Lovell and Buston, 1984
青甘鰲(<i>Seriola quinqueradiata</i>)	0.67	Shimeno, 1991
雜交吳郭魚(<i>Oreochromis niloticus</i> × <i>O. aureus</i>)	0.06	Shiau and Chin, 1999
塘虱魚(<i>Clarias batrachus</i>)	2.49	Mohamed et al., 2000
草蝦(<i>Penaeus monodon</i>)	2.0-2.4	Shiau and Chin, 1998

4-11. 葉酸

大部分魚類缺乏葉酸的症狀為成長不佳以及貧血。體內Thymine及purine的合成都需要葉酸，一旦葉酸缺乏將導致DNA及RNA的合成受到影響；當陸上或水產動物缺乏葉酸時，新陳代謝轉換速度最快的紅血球會先受到影響，導致貧血、活動力減退，易受其他病源感染而致病。在蝦類對

葉酸需求之探討中，Catacutan 和De la Cruz (1989)餵以草蝦稚蝦以缺葉酸之飼料35天後，發現缺乏葉酸會使中腸腺細胞產生病變。水產動物對葉酸之缺乏症列於表二十一。

表二十一、水產動物缺乏葉酸之症狀

Species	Deficiency	Reference
大鱗鮭魚(<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>)	成長不佳、昏睡症 (Letheragy)、背鰭斷裂、體色變暗、貧血及血球數目下降	Halver, 1957
虹鱔(<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	高死亡率、肝體比上升、貧血、背鰭斷裂及游動緩慢、成長下降、體色變暗、腹水、眼球突出、鰓色蒼白、血球數減少及血球直徑變大；於腎前之塗片發現異形紅血球	Kitamura et al., 1967b; Cowey and Woodward, 1993; Smith, 1968 ; Smith and Halver, 1969
河鱒(<i>Salvelinus fontinalis</i>)	紅血球數目、血紅素含量及血比容下降，有斷裂之血球細胞核及不成熟之紅血球	Phillips, 1963 ; Kawatsu, 1975
鯉魚(<i>Cyprinus carpio</i>)	紅血球數目、白血球數目及血紅素含量會明顯下降	Sakti Vel et al., 1990
河鱖(<i>Ictalurus punctatus</i>)	肝臟、脾臟、鰓及腎臟的顏色均蒼白、異形紅血球症、紅血球大小不全症、紅血球皺縮及巨紅血球增多症	Duncan et al., 1993
日本鰻(<i>Anguilla japonica</i>)	成長不佳、食欲減退、體色變暗	Arai et al., 1972
印度鯉魚(<i>Labeo rohita</i>)	巨胚細胞性貧血	John and Mahajan, 1979
鸚鵡魚(<i>Oplegnathas faciatius</i>)	厭食、成長緩慢、紅血球數目下降、輕度神經過敏	Ikeda et al., 1988
草蝦(<i>Penaeus monodon</i>)	中腸腺細胞產生病變	Catacutau and De la Cruz, 1989

Ikeda 等人(1988)和Arai 等人(1972)，分別針對鸚鵡魚(*Oplegnathus faciatius*)及日本鰻(*Anguilla japonica*)進行葉酸缺乏與恢復性實驗，發現在缺乏葉酸之下，魚體的成長及存活情形較不理想，而在恢復給予葉酸後，稍

有改善。此外在Cowey 和 Woodward (1993)的研究中發現，當餵予虹鱒含葉酸的飼料時，其成長較缺乏葉酸組為佳，顯示不佳的成長乃是缺乏葉酸所致。水產動物對葉酸的需求列於表二十二。Aoe等人(1967d)研究鯉魚對葉酸的需求，發現鯉魚可能不需要葉酸，其可能原因是鯉魚腸道內之菌群可以合成葉酸(Kashiwada et al., 1970)。在Shiau和Huang (2001b)的研究中發現草蝦則需在飼料中添加葉酸。水產動物對葉酸的需求與否仍值得進一步的探討。

表二十二、水產動物之葉酸需求

Species	Requirement (mg/kg diet)	Reference
河魮(<i>Ictalurus punctatus</i>)	1	Duncan et al., 1993
虹鱒(<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	0.3-0.6	Cowey and Woodward, 1993
河鱒(<i>Salvelinus fontinalis</i>)	5-6	NRC, 1977
大鱗鮭魚(<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>)	6-10	Halver, 1989
銀鮭魚(<i>Oncorhynchus kisutch</i>)	6-10	Halver, 1989
大西洋鮭魚(<i>Salmo salar</i>)	5-10	Halver, 1989
青甘鰺(<i>Seriola quinqueradiata</i>)	1.2	Shimeno, 1991
鯉魚(<i>Cyprinus carpio</i>)	NR	Aoe et al., 1967d
雜交吳郭魚(<i>Oreochromis niloticus</i> × <i>O. aureus</i>)	0.82	Shiau and Huang, 2001a
草蝦(<i>Penaeus monodon</i>)	1.9-2.1	Shiau and Huang, 2001b

NR: no requirement

4-12. 維生素B₁₂

Kashiwada等人在1970年指出鯉魚腸內菌可合成維生素B₁₂，而Limsuwan 和Lovell (1981)認為河魮腸內菌也具有合成維生素B₁₂的功能，但由於合成量不足以符合其需求，而造成缺乏現象(Dupree, 1966)。Shiau和Lung (1993a)發現雜交吳郭魚腸道細菌可以合成足夠之維生素B₁₂，因而無需在飼料中額外添加。Sugita等人(1991a)指出魚類體內維生素B₁₂含量與其腸道內容物之生菌數呈現正相關，作者亦分離出可合成維生素B₁₂的細菌，並發現對維生素B₁₂有需求量的魚種缺乏此種細菌，故需在飼料中額外添加維生素B₁₂ (Sugita et al., 1990; 1991a,b)。而草蝦飼料中維生素B₁₂之最適添

加量為0.2 mg/kg diet (Shiau and Lung, 1993b)。水產動物對維生素B₁₂之缺乏症列於表二十三，而其飼料中之添加需求量則列於表二十四。

表二十三、水產動物缺乏維生素B₁₂之症狀

Species	Deficiency	Reference
大鱗鮭魚(<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>)	食慾不佳、血球數目與血紅素含量變易過大、細胞核斷裂、不成熟血球存在	Halver, 1957
河魨(<i>Ictalurus punctatus</i>)	成長下降、血球容積比下降	Dupree, 1966; NRC, 1983
日本鰻(<i>Anguilla japonica</i>)	食慾不佳、生長不良	Arai et al., 1972
印度鯉魚(<i>Labeo rohita</i>)	昏睡、成長不佳、魚體呈黑色、巨球性貧血、異常白血球出現	John and Mahajan, 1979
藍點石斑 (<i>Channa punctatus</i>)	成長不佳、血容積比及血紅素含量下降	Mahajan and John, 1981
鸚鵡魚 (<i>Oplegnathas faciatius</i>)	食慾不佳、成長減緩	Ikeda et al., 1988

表二十四、水產動物之維生素B₁₂需求

Species	Requirement (mg/kg diet)	Reference
大鱗鮭魚(<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>)	0.015-0.02	Halver, 1989
銀鮭魚(<i>Oncorhynchus kisutch</i>)	0.015-0.02	Halver, 1989
青甘鰲(<i>Seriola quinqueradiata</i>)	0.053	Shimeno, 1991
鯉魚(<i>Cyprinus carpio</i>)	NR	Kashiwada et al., 1970
雜交吳郭魚(<i>Oreochromis niloticus</i> × <i>O. aureus</i>)	NR	Shiau and Lung, 1993a
草蝦(<i>Penaeus monodon</i>)	0.2	Shiau and Lung, 1993b

NR: no requirement

4-13. 維生素C

維生素C為大多數動物之必需維生素，動物如靈長類，包括人類、天竺鼠、部份蝙蝠、鳥類、魚類及無脊椎動物皆因先天缺乏合成維生素C的關鍵酵素古洛糖酸內酯氧化酵素(L-gluconolactone oxidase)，而無法自行合

成維生素C (Yamamoto et al., 1978)。而且許多動物雖然能夠合成維生素C，但是其合成的量，並無法滿足維持正常生長與生理代謝需求，因此仍然必須由飲食供應適當的維生素C，以避免缺乏症的發生。

飼料中缺乏維生素C，會造成水產動物產生不良症狀，各種水產動物之缺乏症列於表二十五。對於魚類而言，缺乏維生素C產生之缺乏症主要包括：骨骼彎曲，腹水，頭、顎、眼等皮膚出血，眼球凸出，血比容降低，活力降低，鰓蓋不全，成長減緩，厭食，眼、鰓支持軟骨異常，膠原合成受阻，傷口愈合能力下降，易感染與高死亡率等。

表二十五、水產動物缺乏維生素C之症狀

Species	Deficiency	Reference
銀鮭魚(<i>Oncorhynchus kisutch</i>)	脊椎前凸和側凸，腹水，出血性眼球凸出，血比容降低，活力降低，鰓蓋不全，成長減緩，厭食，眼、鰓支持軟骨異常，膠原合成受阻，傷口愈合慢	Kitamura et al., 1967b; Halver, 1972b; 1982; Halver et al., 1969; 1975; Sato et al., 1978; Hilton et al., 1978
虹鱒(<i>Salmo gairdneri</i>)		
河鱖(<i>Ictalurus punctatus</i>)	成長減緩，厭食，活力降低，脊椎前凸和側凸，血比容降低，軟骨異常，膠原合成受阻，抗病力降低	Wilson and Poe, 1973; Andrews and Murai, 1975; Lovell and Lim, 1978; Li and Lovell, 1985
日本鰻(<i>Anguilla japonica</i>)	成長減緩，厭食，鰭和皮膚出血，下顎糜爛	Arai et al., 1972
white fish (<i>Coregonus lavaretu</i>)	輕微出血性眼球凸出，魚鰭基部出血，鰓蓋、下顎糜爛	Dabrowski, 1990
雜交吳郭魚 (<i>Oreochromis niloticus</i> × <i>O. aureus</i>)	魚鰭糜爛，血比容降低，成長減緩，厭食，沒有活力，出血性眼球凸出	Shiau and Jan, 1992a; Soliman et al., 1987
斑節蝦(<i>Marsupenaeus japonicus</i>)	蝦殼邊緣、下腹部與步足出現褪色或不正常的灰白色斑點	Deshimaru and Kuroki, 1976; Iwata and Shigeno, 1980

草蝦(<i>Penaeus monodon</i>)	氣道壁、腸壁、鰓以及殼等呈現黑色素的沈積	Lightner et al., 1977;
美洲白蝦(<i>Litopenaeus vannamei</i>)		Magarelli et al., 1979;
加州蝦(<i>Farfantepenaeus californiensis</i>)		Heinen, 1984;
北褐蝦(<i>F. aztecus</i>)		Catacutan and Lavilla-Pitogo, 1994;
淡水長臂大蝦(<i>Macrobrachium rosenbergii</i>)		Montoya and Molina, 1995

而蝦類缺乏維生素C，會造成蝦體成長緩慢，傷口癒合能力下降外，Lightner等人(1977)發現加州蝦(*Farfantepenaeus californiensis*)、北褐蝦(*Farfantepenaeus aztecus*)及藍蝦(*Litopenaeus stylirostris*)缺乏維生素C時，在氣道壁、腸壁、鰓以及殼等都會呈現黑色素的沈積現象，同樣的Magarelli等人(1979)也證實加州蝦在缺乏維生素C時，出現黑死病現象。其他的對蝦類包括斑節蝦(Deshimaru and Kuroki, 1976)、草蝦(Catacutan and Lavilla-Pitogo, 1994)、美洲白蝦(Montoya and Molina, 1995)以及淡水長臂大蝦(*Macrobrachium rosenbergii*) (Heinen, 1984)在缺乏維生素C時，也都出現黑死病症狀。另外也有報告指出，斑節蝦在缺乏維生素C時，於蝦殼邊緣、下腹部與步足(walking leg)出現褪色或不正常的灰白色斑點(Deshimaru and Kuroki, 1976; Iwata and Shigeno, 1980)。值得注意的是，除了維生素C缺乏對蝦類帶來不良影響，過量的維生素C給予，卻也造成蝦類成長緩慢的不良影響(Kitabayashi et al., 1971; Deshimaru and Kuroki, 1976; New, 1976; Kanazawa, 1982)。

水產動物的營養研究結果顯示，飼料中必需添加適量之維生素C (Magarelli et al., 1979; Conklin, 1983; Catacutan and De la Cruz, 1989; Shiau and Jan, 1992b; Chen and Chang, 1994)，其需求量如表二十六所列。然而，由於傳統水產飼料中所採用的維生素C 為ascorbic acid (C1)，其性質相當不安定，在飼料加工、儲藏過程中，由於溫度、氧氣及光線等因子，往往造成維生素C活性的大量損失(Hilton et al., 1979; Lovell and Lim, 1978; Soliman et al., 1987)。而且在筆者的研究室亦發現，即使在實驗室溫和的飼料製造

條件過程中，傳統維生素C (即C1)之活性損失仍高達75% (Shiau and Hsu, 1993)。為了克服這些問題，近年來，研究人員藉由分子結構之化學修飾法以特定化合物取代L-ascorbic acid六碳環上不安定之第二碳分子上之羥基(OH group)，而形成維生素C衍生物(Seib et al., 1974; Tolbert et al., 1975)，以改善維生素C使用時之不安定性。維生素C及其各種化學衍生物之全名與縮寫見表一所示。

最近數年間，筆者實驗室進行一系列的研究，探討這些不同之維生素C衍生物在水產動物體內之利用與需求，而在已完成之草蝦實驗結果顯示，草蝦對於這些衍生物之需求依大小順序為：C2MP-Mg (1)>C2MP-Na (84%)>C2PP (64%)>C2S (25%)(Hsu and Shiau, 1997; 1998; Shiau and Hsu, 1994)。此乃為首度完成水產動物對不同維生素C衍生物需求的系列研究報告。

表二十六、水產動物之維生素C需求

Species	Requirement (mg/kg diet)	Reference
銀鮭魚(<i>Oncorhynchus kisutch</i>)	50(C1)	Halver et al., 1969
大西洋鮭(<i>Salmon salar</i>)	10-20(C1)	Sandnes et al., 1994
虹鱒(<i>Salmo gairdneri</i>)	100(C1)	Halver et al., 1969
河鱒(<i>Ictalurs punctatus</i>)	50 (C1)	Andrews and Murai, 1975
紅鼓魚(<i>Sciaenops ocellatus</i>)	12-18 (C2PP)	Aguirre and Gatlin, 1999
sunshinebass (<i>Morone chrysops</i> × <i>M. saxatilis</i>)	16-28 (C2PP)	Sealey and Gatlin, 1999
雜交吳郭魚(<i>Oreochromis</i> <i>niloticus</i> × <i>O. aureus</i>)	79 (C1) 41-48 (C2S) 37-42 (C2MP-Mg) 63.4 (C2MP-Na)	Shiau and Jan, 1992a Shiau and Hsu, 1995 Shiau and Hsu, 1999b
藍色吳郭魚(<i>O. aureus</i>)	50 (C1)	Stickney et al., 1984
紅色吳郭魚(<i>O. niloticus</i>)	420 (C1)	Soliman et al., 1994
<i>O. spilurus</i>	100-200 (C2S)	Al-Amoudi et al., 1992
草蝦(<i>Penaeus monodon</i>)	2,000 (C1) 210 (C2PP) 100-200 (C2MP-Mg)	Shiau and Jan, 1992b Chen and Chang, 1994 Catacutan and Lavilla-Pitogo, 1994

	40 (C2MP-Mg)	Shiau and Hsu, 1994
	157 (C2S)	
	106 (C2MP-Na)	Hsu and Shiau, 1998
斑節蝦(<i>Marsupenaeus japonicus</i>)	3,000 (C1)	Deshimaru and Kuroki, 1976
	10,000-20,000 (C1)	Guary et al., 1976
	215-430 (C2MP-Mg)	Shigueno and Itoh, 1988
美洲白蝦(<i>Litopenaeus vannamei</i>)	90-120 (C2 PP)	He and Lawrence, 1993b
加州蝦(<i>Farfantepenaeus californiensis</i>)	2,000 (C1)	Lightner et al., 1979

4-14. 膽鹼

雖然膽鹼在生物體內具有重要的生理功能，但是因為由人體體內的膽鹼來源也可經由其它營養素轉換而來，因此膽鹼並非像其它維生素必須在食物中額外添加。一些營養素成份如methionine、vitamin B12、folate、lecithin等經過代謝，可替代部份膽鹼之生理功能或生合成膽鹼，例如由卵磷脂(lecithin)異化代謝成膽鹼或由甲硫胺酸(methionine)提供甲基代替膽鹼之生化功能。再加上大部份的食物中皆含有膽鹼，包括穀類、肉類、水果、油脂及蔬菜等各類食物中均廣泛含有膽鹼及其衍生物(Zeisel et al., 1980)。因此人類並無膽鹼膽鹼實質上之需求，只要在正常均衡的食物攝取下是不會有缺乏症的產生。

然而在水產動物研究報告中指出，飼料中若無膽鹼的添加則會導致腎臟退化、小腸出血、肝臟疾病、貧血及生長遲滯等現象。各種水產動物缺乏膽鹼時之症狀如表二十七所示。

表二十七、水產動物缺乏膽鹼之症狀

Species	Deficiency	Reference
雜交吳郭魚(<i>Oreochromis niloticus</i> × <i>O. aureus</i>)	血漿及肝中脂肪濃度下降	Shiau and Lo, 2000
河魨(<i>Ictalurs punctatus</i>)	肝腫大、腎及腸出血、體重減少	Dupree, 1966
高首鱒(<i>Acipenser transmontanus</i>)	飼料轉換不良、成長差、血漿中脂肪、三甘油酯濃度減低	Hung, 1989

鯉魚(<i>Cyprinus carpio</i>)	脂肪肝、胰臟脂肪增加、 成長差	Ogino et al, 1970b
湖鱒(<i>Salvelinus namaycush</i>)	脂肪肝、生長受阻	Ketola, 1976
虹鱒(<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	成長差、飼料轉換不良、 腎出血	McLaren et al., 1947 Rumsey, 1991
青甘鰺(<i>Seriola quinqueradiata</i>)	顏色轉暗、飼料轉換不良	Shimeno, 1991
嘉鱚(<i>Chrysophrys major</i>)	成長差、死亡率高	Yano et al., 1988
紅鼓魚(<i>Sciaenops ocellatus</i>)	肝中脂肪濃度下降	Craig and Gatlin, 1996
斑節蝦(<i>Marsupenaeus japonicus</i>)	存活率低、成長差。	Kanazawa et al., 1976
草蝦(<i>Penaeus monodon</i>)	中腸上皮細胞出現壞死。	Catacutan and De la Cruz, 1989

目前研究水產動物對膽鹼的需求大多以魚類為研究對象，而對蝦類的探討則較少，且在有限的蝦類對膽鹼之探討中亦僅粗略地指出其需要性而已。目前已知各種水產動物對膽鹼的需求量列於表二十八。

表二十八、水產動物之膽鹼需求

Species	Requirement (mg/kg diet)	Reference
雜交吳郭魚(<i>Oreochromis niloticus</i> × <i>O. aureus</i>)	1,000	Shiau and Lo, 2000
鯉魚(<i>Cyprinus carpio</i>)	1,500	Ogino et al., 1970b
銀鮭魚(<i>Oncorhynchus kisutch</i>)	600-800	Halver, 1957
湖鱒(<i>Salvelinus namaycush</i>)	1,000	Ketola, 1976
高首鱒(<i>Acipenser transmontanus</i>)	1,700-3,200	Hung, 1989
虹鱒(<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	714-813	Rumsey, 1991
河魨(<i>Ictalurus punctatus</i>)	400	Wilson and Poe, 1988
雜交條紋鱸(<i>Monrhone saxatillis</i> × <i>M. chrysops</i>)	500	Griffin et al., 1994
yellow perch (<i>Perca flavescens</i>)	598-634	Twibell and Brown, 2000
嘉鱚(<i>Pagrus major</i>)	500	Yao and Vance, 1988
紅鼓魚(<i>Sciaenops ocellatus</i>)	588	Craig and Gatlin, 1996

青甘鰺(<i>Seriola quinqueradiata</i>)	2,920	NRC, 1993
大西洋鮭魚(<i>Salmo salar</i>)	430-1,300	Poston, 1991
草蝦(<i>Penaeus monodon</i>)	6,200	Shiau and Lo, 2001
	6,400(5% lipid)	Shiau and Cho, 2002
	7,800(11% lipid)	
斑節蝦(<i>Marsupenaeus japonicus</i>)	600	Kanazawa et al., 1976
中國對蝦(<i>Fenneropenaeus chinensis</i>)	4,000	Liu et al., 1993

由於膽鹼的生合成與代謝和甲硫胺酸(methionine)、甜菜鹼(betaine)以及卵磷脂(lecithin)有關，因此，以下簡述膽鹼與這些營養素間之交互關係。

(1) Methionine

Wilson和Poe在1988年美洲河鱖的試驗中發現甲硫胺酸(methionine)可以節約部份的膽鹼需求。Ogino等人(1970b)亦在以酪蛋白(casein)為蛋白質來源的鯉魚實驗中發現其所含的methionine可節約鯉魚的膽鹼需求。1991年Rumsey在虹鱖的實驗結果中發現，膽鹼的需求量並不會被methionine所取代，且膽鹼對虹鱖的生長有良好的幫助。

(2) Betaine

甜菜鹼(betaine)為氧化作用代謝的產物，且為體內甲基供應來源之一，雖然在水中動物研究中並未指出betaine為必須營養素，但在草蝦飼料中常用之來當作為誘引物質。因此在草蝦營養中，膽鹼與betaine之相關性可能會比魚類來的重要。

Rumsey在1991年虹鱖的試驗中發現在基礎飼料中加入高量betaine並無法改善缺乏膽鹼時其增重較低的情況，但是過量的betaine可以稍微改善因內生性膽鹼缺乏而產生的現象；且過量的betaine可以節約二分之一膽鹼的需求，但膽鹼的需求量並不會完全被取代。

(3) Lecithin

Hilton等人於1984年在淡水長臂大蝦的研究中指出，飼料中若含卵磷脂(lecithin)之飼料油脂(例如capelin oil含有lecithin)或膽鹼時，則不須額外添加lecithin。Deshimaru和Kuroki (1979)認為斑節蝦可自行生合成膽鹼，而不需額外添加。有關膽鹼與lecithin之間的相關性仍有待深入的探討。

4-15. 肌醇

肌醇的缺乏通常是由於生物體本身因飲食或生理壓力而產生脂質營養

不良(lipodystrophies)，導致無法利用正常的脂質運送與減少脂蛋白的形成與分泌。然而在人類的研究中，尚無發現肌醇缺乏的現象。推測其原因為，在正常情況下由一般的日常飲食來源中，即可獲得足夠的肌醇含量，同時人體內亦可自行合成或從腸道細菌合成少量的肌醇以達生理需求。

同樣地在小鼠成長期時，給予缺乏肌醇的飲用水並不會影響小鼠的成長表現(Woods and Hegsted, 1979)。但其乳汁中肌醇的含量即會減少(Burton and Wells, 1976)。另外當餵以初生(neonatal)的小鼠6~72天缺乏肌醇飼料中，並未出現明顯的缺乏症狀，僅在部份組織中游離肌醇的濃度有減少的現象(Burton and Wells, 1976)。在水產動物方面，卻發現魚類若飼料中不添加肌醇，會造成明顯的缺乏症狀。McLaren等人(1947)觀察虹鱒的肌醇缺乏症狀和所謂的鰭腐爛(fin rot)的症狀有非常相似的鰭變化。嘉鱾(Yone et al., 1971)、鰻魚(Arai et al., 1972)、鸚鵡魚(Ikeda et al., 1988)、青甘鰲(Hosokawa, 1989)的肌醇缺乏症包括食慾不振、貧血、生長不良、鰭潰爛、皮膚變黑、胃排空緩慢等。

Holub等人(1982)發現虹鱒如果不餵以肌醇，幼鱒肝中會蓄積大量中性脂肪且膽固醇、三甘油脂量亦會提高，而總脂質(phosphatidylcholine, phosphatidylethanolamine, phosphatidyl-inositol)降低。Yone等人(1971)指出嘉鱾之肌醇缺乏症有食慾低下和成長停止的現象，其對肌醇之需求量為550~990 mg/kg；且對肌醇之需求量隨飼料中葡萄糖含量(10~40%範圍)增加而上升。而Halver (1972a)根據Yone之研究成果，認為僅需300~500 mg/kg即可。各種魚類之肌醇缺乏症見表二十九所列。

表二十九、水產動物缺乏肌醇之症狀

Species	Deficiency	Reference
虹鱒(<i>Salmo gairdneri</i>)	厭食症、生長緩慢、消化作用減	McLaren et al., 1947
大西洋鮭魚(<i>Salmo salar</i>)	緩、膽鹼脂化(choline esterase)活性降低、轉胺(transaminase)活性降低、肝內中性脂質、膽固醇三甘油脂增加、總磷脂質量下降、鰭腐爛、胃膨脹、死亡率高	Aoe and Masuda, 1967
鯉魚(<i>Cyprinus carpio</i>)	皮膚病變、成長緩慢	Arai et al., 1972
日本鰻(<i>Anguilla anguilla</i>)	灰白色腸、食慾低下、成長停滯	Yone et al., 1971
嘉鱾(<i>Chrysophrys major</i>)	成長差	

各種水產動物之肌醇需求量列於表三十。鯉魚被發現當餵以缺乏肌醇飼料餵以十六週，鯉魚組織中仍含相當量的肌醇，由此推測鯉魚腸道似乎可以合成肌醇(Aoe and Masuda, 1967)，但沒有外源補充肌醇時，便不足以維持幼魚的正常生長，因為幼魚比成魚需要更多的肌醇。Burtle和Lovell (1989)指出河魴肝臟和腸道都能合成肌醇。

對蝦類而言，Kanazawa等人(1976)發現斑節蝦在肌醇缺乏時，經四週飼養即呈成長減緩，同時估計斑節蝦之肌醇需求量為2,000 mg/kg diet。Deshimaru和Kuroki (1976)亦指出斑節蝦幼蝦之肌醇需求量為2,000 mg/kg diet。

表三十、水產動物之肌醇需求

Species	Requirement (mg/kg diet)	Reference
河魴(<i>Ictalurs punctatus</i>)	NR	Burtle and Lovell, 1989
虹鱒(<i>Salmo gairdneri</i>)	300	McLaren et al., 1947
大西洋鮭魚(<i>Salmo salar</i>)	300	Halver, 1972a
鯉魚(<i>Cyprinus carpio</i>)	440	Aoe and Masuda, 1967
嘉鱚(<i>Chrysophrys major</i>)	300-500	Yone et al., 1971
青甘鯨(<i>Seriola quinqueradiata</i>)	423	Shimeno, 1991
斑節蝦(<i>Marsupenaeus japonicus</i>)	2,000	Kanazawa et al., 1976

4-16. 對氨基苯甲酸

對氨基苯甲酸(para-aminobenzoic acid, PABA)是葉酸的組成份之一，有些細菌把PABA作為維生素原(provitamin)，但對人類而言PABA卻不具有維生素的活性，因為人類沒有辦法利用它來合成葉酸所致。

在水產動物的飼料中經常添加PABA，但PABA所扮演的生理功能仍不明瞭。Halver (1957)及Kitamura等人(1965)認為PABA的添加與否對鮭形魚類(salmonid fish)沒有任何影響，Aoe和Masuda (1967)也發現PABA並不影響鯉魚的成長。但是McLaren等人(1947)發現當虹鱒缺乏PABA時會出現脂肪肝的症狀，且求出其最適需求量約在100~200 mg/kg diet之間。Philips等人(1963)也發現河魴缺乏PABA時，會有輕微的紅血球數目減少的現象，但此現象在鯉魚的研究中並未被發現(Aoe and Masuda, 1967)。PABA對水產動物的生理功能，以及是否有添加的必要，至今尚未明瞭，有待進一步探討。

5. 参考文献

- Adron, J.W., Knox, D., Cowey, C.B., 1978. Studies on the nutrition of marine flatfish. The pyridoxine requirements of turbot (*Scophthalmus maximus*). Br. J. Nutr. 40, 261-268.
- Agrawal, N.K., Mahajan, C.L., 1980. Nutritional deficiency disease in an Indian major carp, *Cirrhina mrigala* Hamilton, due to avitaminosis C during early growth. J. Fish Dis. 3, 231-217.
- Agrawal, N.K., Mahajan, C.L., 1983. Pathology of vitamin B6 deficiency in *Channa* (= *Ophiocephalus*) *punctatus* Bloch. J. Fish Dis. 6, 439-450.
- Aguirre, P., Gatlin, D.M. III, 1999. Dietary vitamin C requirement of red drum *Sciaenops ocellatus*. Aquaculture Nutr. 5, 247-249.
- Al-Amoudi, M.M., El-Nakkadi, A.M.N., El-Nouman, B.M., 1992. Evaluation of optimum dietary requirement of vitamin C for the growth of *Oreochromis spilurus* fingerlings in water from the red sea. Aquaculture 105, 165-173.
- Alava, V.R., Kanazawa, A., Teshima, S.I., Koshio, S., 1993. Effect of dietary vitamin A, E and C on the ovarian development of *Penaeus japonicus*. Nippon Suisan Gakkaishi 59, 1235-1241.
- Anderson, R., 1981. Ascorbic acid and immune function: Mechanism of immunostimulation. In: Vitamin C (ascorbic acid), Counsell, J.N., Horning, D.H. (Eds.). Applied Science, London, pp. 249-272.
- Anderson, J., Jackson, A.J., Matty, A.J., Capper, B.S., 1984. Effects of dietary carbohydrate and fibre on the tilapia *Oreochromis niloticus* (Linn.). Aquaculture 37, 303-314.
- Andrews, J.W., Murai, T., 1975. Studies on the Vitamin C requirements of channel catfish *Ictalurus punctatus*. J. Nutr. 105, 557-561.
- Andrews, J.W., Murai, T., 1978. Dietary niacin requirements for channel catfish. J. Nutr. 108, 1508-1511.
- Andrews, J.W., Murai, T., 1979. Pyridoxine requirements of channel catfish. J. Nutr. 109, 533-537.
- Andrews, J.W., Murai, T., Page, J.W., 1980. Effect of dietary cholecalciferol and ergocalciferol on catfish. Aquaculture 19, 49-54.

- Aoe, H., Masuda, I., 1967. Water-soluble vitamin requirements of carp. I. Requirements for p-aminobenzoic acid and inositol. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 33, 674-680.
- Aoe, H., Masuda, I., Saito, T., Komo, A., 1967a. Water-soluble vitamin requirement of carp—IV. Requirement for thiamine. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 33, 970-974.
- Aoe, H., Masuda, I., Saito, T., Komo, A., 1967b. Water-soluble vitamin requirements of carp.1. Requirement for vitamin B2. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 33, 355-360.
- Aoe, H., Masuda, I., Takada, T., 1967c. Water-soluble vitamin requirements of carp-III. Requirement for niacin. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 33, 681-685.
- Aoe, H., Masuda, I., Saito, T., Komo, A., 1967d. Water-soluble vitamin requirements of carp.5. Requirement for folic acid. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 33, 1068-1071.
- Aoe, H., Masuda, T., Saito, T., Komo, A., 1968. Requirement of young carp for vitamin A. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 34, 959-964.
- Aoe, H., Masuda, I., Mimura, T., Saito, T., Komo, A., Kitamura, T., 1969. Water-soluble vitamin requirements of carp—VI. Requirement for thiamine and effects of antithiamines. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 35, 459-465.
- Arai, S., Nose, T., Hashimoto, Y., 1972. Qualitative requirements for of young eels, *Anguilla japonica*, for water-soluble vitamins and their symptoms. Bull. Freshwater Res. Lab. Tokyo 22, 69-83.
- Ashley, L.M., 1972. Nutritional pathology. In: Halver J.E. (Ed.), Fish Nutrition. Academic Press, Inc., New York, pp. 439-537.
- Axelrod, A.E., 1971. Immune processes in vitamin deficiency states. Am. J. Clin. Nutr. 24, 265-271.
- Baeyer, A., 1866. Synthese des neurins I. Ueber Neurin Ann. Chem. Liebigs 140, 306-313.
- Bai, S.C., Gatlin, D.M. III, 1993. Dietary vitamin E concentration and duration of feeding affect tissue α -tocopherol concentrations of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. Aquaculture 113, 129-135.
- Bai, S.C., Lee, K.J., 1998. Different levels of dietary DL- α -tocopheryl acetate

- affect the vitamin E status of juvenile Korean rockfish, *Sebastes Schlegeli*. Aquaculture 161, 405-414.
- Baker, R.T.M., Davies, S.J., 1996. Changes in tissue α -tocopherol status and degree of lipid peroxidation with varying α -tocopherol acetate inclusion in diets for the African catfish. Aquaculture Nutr. 2, 71-79..
- Baker, R.T.M., Davies, S.J., 1997. Modulation of tissue α -tocopherol in African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell), fed oxidized oils, and the compensatory effect of supplement dietary vitamin E. Aquaculture Nutr. 3, 91-99.
- Barnett, B.J., Cho, C.Y., Slinger, S.J., 1982a. Relative biopotency of dietary ergocalciferol cholecalciferol and the role of requirement for vitamin D in rainbow trout. J. Nutr. 112, 2011-2019.
- Barnett, B.J., Cho, C.Y., Slinger, S.J., 1982b. Biological activity of 25-hydroxycholecalciferol and 1,25-dihydroxycholecalciferol for rainbow trout. J. Nutr. 112, 2020-2026.
- Bell, J.B., Cowey, C.B., Adron, J.W., 1985a. Some effects of vitamin E and selenium deprivation on tissue enzyme levels and indices of tissue peroxidation in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. Br. J. Nutr. 53, 149-157.
- Bell, M.V., Henderson, R.J., Sargent, J.R., 1985b. Effects of dietary polyunsaturated fatty acid deficiencies on mortality, growth and gill structure in the turbot, *Scophthalmus maximus*. J. Fish Biol. 26, 181-191.
- Bell, M.V., Henderson, R.J., Sargent, J.R., 1985c. Changes in fatty acid composition of phospholipids from turbot (*Scophthalmus maximus*) in relation to dietary polyunsaturated fatty acid deficiencies. Com. Biochem. Physiol. 81B, 193-198.
- Berridge, Irvine, 1984. Inositol triphosphate, a novel second messenger in cellular signal transduction. Nature 312, 315-321.
- Blaxter, J.H.S., Roberts, R.J., Balbontin, F., McQueen, A., 1974. B group vitamin deficiency in cultured herring. Aquaculture 3, 387-389.
- Burns, J.J., 1975. Introduction: Overview of ascorbic acid metabolism. In: Second Conference on Vitamin C, King, C.G., Burns, J.J. (Eds.), N.Y.

- Acad. Sci., New York, pp.5-6.
- Burtle, G.J., Lovell, R.T., 1989. Lack of response of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) to dietary myo-inositol. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46, 218-222.
- Burton, L.E., Wells, W.W., 1976. Myo-inositol metabolism during lactation and development in the rat. The prevention of lactation-induced fatty liver by dietary myo-inositol. J. Nutr. 106, 1617-1628.
- Butthep, C., Sitasit, P., Bonyaratpalin, M., 1985. Water-soluble vitamins essential for the growth of Clarias. In: Cho, C.Y., Cowey, C.B., Watanabe, T. (Eds.), Finfish nutrition in Asia: methodological approaches to research and development. International Development Research Center, Ottawa. pp. 118-129.
- Carlton, W.W., Henderson, W., 1965. Studies in chickens fed a copper-deficient diet supplemented with ascorbic acid, reserpine and diethyl stilbestrol. J. Nutr. 85, 67.
- Castledine, A.J., Cho, C.Y., Silnger, S.J., Hicks, B., Bayley, H.S., 1978. Influence of dietary biotin level on growth, metabolism and pathology of rainbow trout. J. Nutr. 108, 698-711.
- Catacutan, M.R., De la Cruz, M., 1989. Growth and mid-gut cells profile of *Penaeus monodon* juvenile fed water-soluble-vitamin deficient diets. Aquaculture 81, 137-144.
- Catacutan, M.R., Lavilla-Pitogo, C.R., 1994. L-ascorbyl-2-phosphate-Mg as a source of vitamin C for juvenile *Penaeus monodon*. Isr. J. Aquacult-Bamidgeh 43, 35-41.
- Chan, A.C., 1993. Partners in defense, vitamin E and vitamin C. Can. J. Physiol. Pharmacol., 71: 725-731.
- Chen, H.Y., Chang, C.F., 1994. Quantification of vitamin C requirements for juvenile shrimp (*Penaeus monodon*) using polyphosphorylated L-ascorbic acid. J. Nutr. 124, 2033-2038.
- Chen, H.Y., Hwang, G., 1992. Estimation of the dietary riboflavin required to maximize tissue riboflavin concentration in juvenile shrimp (*Penaeus monodon*). J. Nutr. 122, 2474-2478.

- Chen, H.Y., Wu, F.C., Tang, S.Y., 1991. Thiamin requirement of juvenile shrimp (*Penaeus monodon*). J. Nutr. 121, 1984-1989.
- Chen, S., Li, A., 1994. Investigation on nutrition of vitamin A for shrimp *Penaeus chinensis*: 1. Effects of vitamin A on shrimp's growth and visual organ. Acta. Zool. Sin. Dongwu. Xuebao. 40, 266-273.
- Chou, B.S., Shiau, S.Y., 1996. Optimal dietary lipid level for growth of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. Aquaculture 143, 185-195.
- Cho, C.Y., Woodward, B., 1990. Dietary pantothenic acid requirements of young rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). FASEB J. 4, 3747.
- Chu, Hegsted, 1980. Myo-inositol deficiency in gerbils: comparative study of the intestinal lipodystrophy in meriones unguiculatus and meriones libycus. J. Nutr. 110, 1209-1216.
- Cohn, W., 1997. Bioavailability of vitamin E. J. Nutr. 126, s80-s85.
- Conklin, D.E., 1983. The role of micronutrients in the biosynthesis of the crustacean exoskeleton. In: Pruder, G.D., Landor, C.J., Conklin, D.E. (Eds.), Proceedings of the Second International Conference on Aquaculture Nutrition, pp. 146-165. Louisiana State University. Baton Rouge, LO.
- Cowey, C.B., Woodward, B., 1993. The dietary requirement of young rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) for folic acid. J. Nutr. 123, 1594-1600.
- Cowey, C.B., Adron, J.W., Knox, D., 1975. Studies on the nutrition of marine flatfish. The thiamin requirement of turbot (*Scophthalmus maximus*). Br. J. Nutr. 34, 383-397.
- Cowey, C.B., Adron, J.W., Youngson, A., 1983. The vitamin E requirement of rainbow trout, *Salmo gairdneri*, given diets containing polyunsaturated fatty acids derived from fish oil. Aquaculture 30, 85-93.
- Craig, S.R., Gatlin, D.M., 1996. Dietary choline requirement of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*). J. Nutr. 126, 1696-1700.
- Dabrowski, K., 1990. Ascorbic acid status in the early life of white fish, *Coregonus lavaretus* L. Aquaculture 84, 61-70.
- Dam, H., 1935. The antihemorrhagic vitamin of the chick. Biochem. 29, 1273-1285.

- Dedi, J., Takeuchi, T., Seikai, T., Watanabe, T., 1995. Hypervitaminosis and safe levels of vitamin A for larval flounder (*Paralichthys olivaceus*) fed *Aetemia nauplii*. *Aquaculture* 133, 135-146.
- Deshimaru, O., Kuroki, K., 1976. Studies on a purified diet for prawn.VII. Adequate dietary levels of ascorbic acid and inositol. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 42, 571-576.
- Deshimaru, O., Kuroki, K., 1979. Requirement of prawn for dietary thiamine, pyridoxine, and choline chloride. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 45, 363-367.
- Desjardins, L.M., 1985. The effect of iron supplementation on diet rancidity and growth and physiological response of rainbow trout. Master thesis, University of Guelph, Ont., pp. 174.
- Duncan, P.L., Lovell, R.T., Butterworth, C.E., Freeberg, L.F., Tamura, T., 1993. Dietary folate requirement determined for channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *J. Nutr.* 123, 1888-1897.
- Dupree, H.K., 1966. Vitamin essential for the growth of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. U.S. Sport fish and wildlife Tech. Papers 7. pp. 7-13.
- Dupree, H.K., 1970. Dietary of vitamin A acetate and β -carotene. In: *Progress in Sport Fishery Research Resource Pub. No. 88*. Washington, D.C.; Bureau of Sport Fish and Wildlife, pp. 148-150.
- Durve, V.S., Lovell, R.T., 1982. Vitamin C and disease resistance in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 39, 948-951.
- Eckhert, C.D., Kemmerer, A.R., 1974. Effect of vitamin A and methionine on growth and amino acid composition of body protein in rainbow trout fingerlings. *J. Nutr.* 104, 865-870.
- Finley, E.B., Cerklewski, F.L., 1983. Influence of ascorbic acid supplementation on copper status in young adult man. *Am. J. Clin. Nutr.* 37, 553-556.
- Fisher, L.R., 1960. Vitamins. In: Waterman, Y.H. (Ed.), *Physiology of Crustacean*, Volume I. Academic Press, New York, NY, pp. 259-289.
- Fisher, L.R., Kon, S.K., Thompson, S.Y., 1952. Vitamin A and carotenoids in certain invertebrates. I. Crustacea: Penaeidea. *J. Mar. Biol. Ass. (UK)* 31, 229-258.

- Furuichi, M., Yone, Y., 1982a. Availability of carbohydrate in nutrition of carp and red sea bream. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 48, 945-948.
- Furuichi, M., Yone, Y., 1982b. Effect of insulin on blood sugar levels of fishes. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 48, 1289-1291.
- Gatlin, D.M. III, Bai, S.C., Erickson, M.C., 1992. Effects of dietary vitamin E and synthetic antioxidants on composition and storage quality of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. Aquaculture 106, 323-332.
- Generally Recognized as Safe (GRAS), 1973. Informatics, Inc., Scientific Literature Reviews on Generally Recognized as Safe (GRAS) Food Ingredients-Inositol, NTIS # PB223861.
- Grahl-Madsen, E., Lie, O., 1997. Effects of different levels of vitamin K in diets for cod (*Gadus morhua*). Aquaculture 151, 269-274.
- Green, R.C., O' Brien, P.J., 1973. The involvement of semidehydro-ascorbate reductase in the oxidation of NADH by lipid peroxide in mitochondria and microsomes. Biochem. Biophys. Acta. 193, 334-342.
- Griffin, M.E., Wilson, K.A., White, M.R., Brown, P.B., 1994. Dietary choline requirement of juvenile hybrid striped bass. J. Nutr. 124, 1685-1689.
- Guay, M., Kanazawa, A., Tanaka, N., Cecaldi, H.J., 1976. Requirement for ascorbic acid. Nutritional requirements of prawn-VI. Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ. 25, 53-57.
- Gunther, K.D., Meyer-Burgdorff, K.H., 1990. Studies on biotin supply to mirror carp (*Cyprinus carpio* L.). Aquaculture 84, 49-60.
- Halver, J.E., 1957. Nutrition of salmonoid fishes. III Water-soluble vitamin requirements of chinook salmon. J. Nutr. 62, 225-243.
- Halver, J.E., 1972a. The vitamins. In: Halver, J.E. (Ed.), Fish Nutrition, Academic press, New York and London, pp. 29-103.
- Halver, J.E., 1972b. The role of ascorbic acid in fish disease and tissue repair. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 38, 79-92.
- Halver, J.E., 1982. The vitamins required for cultivated salmonids. Comp. Biochem. Physiol. 73, 43-50.
- Halver, J.E., 1989. The vitamins. In: Halver J.E. (Ed), Fish Nutrition, 2nd edition. Academic Press, New York, pp. 3-109.

- Halver, J.E., Ashley, L.M., Smith, M., 1969. Ascorbic acid requirements of coho salmon and rainbow trout. *Trans. Am. Fish Soc.* 98, 762-771.
- Halver, J.E., Smith, R.R., Tolbert, B.M., Baker, E.M., 1975. Utilization of ascorbic acid in fish. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 258, 81-102.
- Hamre, K., Lie, O., 1995. α -Tocopherol levels in different organs of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)-Effects of smoltification, dietary levels of n-3 polyunsaturated fatty acid and vitamin E. *Comp. Biochem. Physiol.* 111A, 547-554.
- Hardie L.J., Fletcher, T.C., Secombes, C.J., 1991. The effect of dietary vitamin C on the immune response of the Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 95, 201-214.
- Hardy, R.W., Casillas, E., Masumoto, T., 1987. Determination of vitamin B6 deficiency in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) by liver enzyme assay and HPLC analysis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44, 219-222.
- Hashimoto, Y., Arai, S., Nose, T., 1970. Thiamin deficiency symptoms experimentally induced in the eel. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 36, 791-797.
- He, H., Lawrence, A.L., 1993a. Vitamin E requirement of *Penaeus vannamei*. *Aquaculture* 118, 245-255.
- He, H., Lawrence, A.L., 1993b. Vitamin C requirements of the shrimp *Penaeus vannamei*. *Aquaculture* 114, 305-316.
- He, H., Lawrence, A.L., Liu, R., 1992. Evaluation of dietary essentiality of fat-soluble vitamins, A, D, E, and K for penaeid shrimp (*Penaeus vannamei*). *Aquaculture* 103, 177-185.
- Heinen, J.M., 1984. Nutritional studies on the giant asian prawn, *Macrobrachium rosenbergii* Ph. D. dissertation, Boston University. Boston, Massachusetts, USA.
- Hepher, B., 1989. Principal of fish nutrition. In: Shilo, M., Salig, S. (Eds.), *Fish Culture in Warmwater System: Problems and Trends*. CRC Press. INC., pp. 121-141.
- Herman, R.L., 1985. Histopathology associated with pyridoxine deficiency in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 46, 173-177.

- Hill, C.H., Starcher, B., 1965. Effect of reducing agents on copper deficiency in the chick. *J. Nutr.* 85, 271.
- Hilton, J.W., 1983. Hypervitaminosis A in rainbow trout (*Salmo gairdneri*): Toxicity sign and maximum tolerable level. *J. Nutr.* 113, 1737-1745.
- Hilton, J.W., 1989. The interaction of vitamins, minerals and diet composition in the diet of fish. *Aquaculture* 79,223-244.
- Hilton, J.W., Cho, C.Y., Slinger, S.L., 1978. Effect of graded levels of supplemental ascorbic acid in practical trout diets fed to rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Fish. Res. Board Can.* 35, 431-436.
- Hilton, J.W., Brown, R.G., Slinger, S.L., 1979. The half-life and uptake of ¹⁴C-L-ascorbic acid in selected organs of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Fish. Res. Board Can.* 35, 431-436.
- Hilton, J.W., Harrison, K.E., Slinger, S.J., 1984. A semi-purified test diet for *Macrobrachium rosenbergii* and the lack of need for supplemental lecithin. *Aquaculture* 37, 209-215.
- Hodges, J.E., Bean, W.B., Ohlsojn, M.A., Bleiler, R.E., 1962a. Factors affecting human antibody response. III. Immunologic responses of men deficient in pantothenic acid. *Am. J. Clin. Nutr.* 11, 85-93.
- Hodges, R.E., Bean, W.B., Ohlsojn, M.A., Bleiler, R.E., 1962b. Factors affecting human antibody response. V. Combined deficiencies of pantothenic acid and pyridoxine. *Am. J. Clin. Nutr.* 11, 187-119.
- Holub, B.J., Bregeron, B., Woodward, T., 1982. The effect of inositol deficiency on the hepatic neutral lipid phospholipid composition of rainbow trout. *J. Nutr.* 112,
- Hosokawa, H., 1989. The vitamin requirements of fingerling yellowtail, *Seriola quinqueradiata*. Ph. D. dissertation. Kochi University, Japan.
- Hsu, T.S., 1998. Utilization of ascorbic acid derivatives in grass shrimp, *Penaeus monodon*. Ph. D thesis, National Taiwan Ocean University, Keelung, Taiwan.
- Hsu, T.S., Shiau, S.Y., 1997. Comparison of L-ascorbyl-2-polyphosphate with L-ascorbyl-2-sulfate in meeting vitamin C requirements of juvenile grass shrimp *Penaeus monodon*. *Fisheries Sci.* 63, 958-962.

- Hsu, T.S., Shiau, S.Y., 1998. Comparison of vitamin C requirement for maximum growth of grass shrimp, *Penaeus monodon*, using L-ascorbyl-2-monophosphate-Na and L-ascorbyl-2-monophosphate-Mg. *Aquaculture* 163, 203-213.
- Hsu, T.S., Shiau, S.Y., 1999a. Influence of dietary ascorbate derivatives on tissue copper, iron and zinc concentrations in grass shrimp, *Penaeus monodon*. *Aquaculture* 179, 457-464.
- Hsu, T.S., Shiau, S.Y., 1999b. Tissue storage of vitamin E in grass shrimp, *Penaeus monodon*, fed dietary DL- α -tocopheryl acetate. *Fisheries Sci.* 65, 169-170.
- Hung, S.S.O., 1989. Choline requirement of hatchery-produced juvenile white sturgeon (*Acipenser transmontanus*). *Aquaculture* 78, 183-194.
- Hung, S.S.O., Slinger, S.J., 1980. Effect of oxidized fish oil on the ascorbic acid nutrition of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Int. J. Vit. Nutr. Res.* 50, 393-400.
- Hunt, C.E., Carlton, W.W., 1965. Cardiovascular lesions associated with experimental copper deficiency in the rabbit. *J. Nutr.* 87, 385.
- Hunt, C.E., Carlton, W.W., Newberne, P.M., 1970. Interrelationships between copper and dietary ascorbic acid in the rabbit. *Br. J. Nutr.* 24, 61-69.
- Ikeda, S., Ishibashi, Y., Murata, O., Nasu, T., Harada, T., 1988. Qualitative requirements of the Japanese parrot fish for water-soluble vitamins. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 54, 2029-2035.
- IUPAC-IUB Commission on Biochemical Nomenclature, 1973. Nomenclature for vitamin B6 and related compounds. *Eur. J. Biochem.* 40, 325-327.
- Iwata, H., Shigeno, K., 1980. Vitamin C-deficiency symptoms of prawn, *Penaeus japonicus*. Meeting of the Japanese Society of Scientific Fisheries (Fukuoka) Abstract 3 pp.
- John, M.J., Mahajan, C.L., 1979. The physiological response of fishes to a deficiency of cyanocobalamin and folic acid. *J. Fish Biol.* 14, 127-133.
- Johnston, P.C., 1985. Dietary fat, eicosanoids, and immunity. *Adv. Lipid Res.* 21, 103-141.

- Kanazawa, A., 1982. Penaeid nutrition. Proceedings of the second International Conference in Aquaculture Nutrition. Biochemical and Physiological Approaches to Shellfish Nutrition, 87-105 October 27-29, 1981. Rehoboth Beach, DE. 87-105.
- Kanazawa, A., 1985. Nutrition of Penaeid prawns and shrimps. In: Taki, Y., Primavera, J.H., Llobrera, J.A. (Eds.), Proceeding of the First International Conference on the Culture of Penaeid prawns/shrimps. Aquacult. Dept. Southeast Asian Fish. Dev. Center, Iloilo, Philippines, pp. 123-130.
- Kanazawa, A., Teshima, S.I., Tanaka, N., 1976. Nutritional requirement of prawn-5. Requirement for choline and inositol. [Presented at the Meeting of the Japanese Society of Scientific Fisheries] Mem. Fac. Fish. Kagoshima 25, 47-51.
- Kashiwada, K., Teshima, S., Kanazawa, A., 1970. Studies on the production of B vitamins by intestinal bacteria of carp, *Cyprinus carpio*. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 36, 421-424.
- Kato, K., Ishibashi, Y., Murata, O., Nasu, T., Ikeda, S., Kumai, H., 1994. Qualitative water-soluble vitamin requirements of tiger puffer. Fisheries Sci. 60, 589-596.
- Kawatsu, H., 1975. Studies on the anemia of fish-VII. Folic acid anemia in brook trout. Bull. Freshwater Fish. Res. Lab. 25, 21-31.
- Ketola, H.G., 1976. Choline metabolism and nutritional requirement of lake trout (*Salvelinus namaycush*). J. Anim. Sci. 43, 474-477.
- Kissil, G.W., Cowey, C.B., Adron, J.W., Richerds, R.H., 1981. Pyridoxine of the gilthead bream, *Sparus aurata*. Aquaculture 23, 243-255.
- Kitabayahi, K., Shudo, K., Nakamura, K., Ishikawa, S., 1971. Studies on formula feed for kuruma prawn II. On the utilization values of glucose. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab. 65, 109-118.
- Kitamura, S., Ohara, S., Suwa, T., Nakagawa, K., 1965. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 31, 818-826.
- Kitamura, S., Suwa, T., Ohara, S., Nakagawa, K., 1967a. Studies on vitamin requirements for rainbow trout-III. Requirement of vitamin A and deficiency symptoms. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 33, 1126-1131.

- Kitamura, S., Suwa, T., Ohara, S., Nakagawa, K., 1967b. Studies on vitamin requirements of rainbow trout II. The deficiency symptoms fourteen kinds of vitamin. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 33, 1120-1125.
- Knowles, J.R., 1989. The mechanism of biotin-dependent enzymes. Annu. Rev. Biochem. 58, 195-221.
- Kocabas, A.M., Gatlin III, D.M., 1999. Dietary vitamin E requirement of hybrid striped bass (*Morone chrysops* female $\times$ *M. saxatilis* male). Aquaculture Nutr. 5, 3-7.
- Lall, S.P., Weerakoon, D.C.M., 1990. Vitamin B6 requirement of Atlantic salmon (*Salmo salar*). FASEB J. 4, A912.
- Lall, S.P., Olivier, G., Hines, J.A., Ferusonn, H.W., 1988. The role of vitamin E in nutrition and immune response of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Bull. Aqua. Assoc. Can. 88, 76.
- Lam, V., 1985. Dietary requirement for α -tocopherol by *Tilapia nilotica*. Master thesis, Auburn University, Auburn, AL, 66pp.
- Lanno, R. P., Hicks, B., Hilton, J. W., 1987. Histological observations on intrahepatic copper-containing granules in rainbow trout reared on diets containing elevated levels of dietary copper. Aquat. Toxicol. 10, 251-263.
- Lederer, W.H., Kumar, M., Axelrod, A.E., 1975. Effects of pantothenic acid deficiency on cellular antibody synthesis in rats. J. Nutr. 105, 17-25.
- Li, Y., Lovell, R.T., 1985. Elevated levels of dietary ascorbic acid increase immune responses in channel catfish. J. Nutr. 115, 123-131.
- Lightner, D.V., Colvin, L.B., Brand, C., Danald, D.A., 1977. "Black death" a disease syndrome related to a dietary deficiency of ascorbic acid. Proc. World Maricult. Soc. 8, 1137-1146.
- Lightner, D.V., Hunter, B., Magarelli, P.C., Colvin, L.B., 1979. Ascorbic acid: nutritional requirement and role in wound repair in penaeid shrimp. Proc. World Maricult. Soc. 8, 611-623.
- Lim, C., Leamaster, B., 1991. In: Program and Abstracts, World Aquaculture Society 22nd Annual Conference and Exposition, 16-20 June 1991, San Juan, Puerto Rico, p. 39.

- Lim, C., LeaMaster, B.R., Brock, J.A., 1993. Riboflavin requirement of fingerlings red hybrid tilapia grown in seawater. *J. World Aquacult. Soc.* 24, 451-458.
- Lim, C., LeaMaster, B.R. Brock, J.A., 1995. Pyridoxine requirement of fingerling red hybrid tilapia growth in seawater. *J. Appl. Aqualt.* 5, 49-60.
- Limsuwan, T., Lovell, R., 1981. Intestinal synthesis and absorption of vitamin B12 in channel catfish. *J. Nutr.* 111, 2125-2132.
- Liu, T., Li, A., Zhang, J., 1993. Studies on vitamin nutrition for the shrimp *Fenneropenaeus chinensis*. 10. Studies on the choline chloride and inositol requirements in the shrimp *Fenneropenaeus chinensis*. *J. Ocean Univ. Qingdao Qingdao Haiyang Daxue Xuebao* 23, 67-74.
- Liu, O.R., Plumb, J.A., Guerin, M., Lovell, R.T., 1989. Effect of megalevels of dietary vitamin C on the immune responses of channel catfish *Ictalurus punctatus* in ponds. *Dis Aquat. Org.* 7, 191-194.
- Lovell, R.T., 1980. Nutrition and feeding. In: Brown, E.E., Grotzek, J.B. (Eds.), *Fish Farming Handbook*, An. AVI Book. New York, pp. 207-236.
- Lovell, R.T., 1989. Diet and fish husbandry. In: Halver, J.E. (Ed.), *Fish Nutrition*, 2nd edition. Academic Press, pp. 549-604.
- Lovell, R.T., Buston, J.C., 1984. Biotin supplementation of practical diets for channel catfish. *J. Nutr.* 114, 1092-1096.
- Lovell, R.T., Lim, C., 1978. Vitamin C in pond diets for channel catfish. *Trans. Am. Fish Soc.* 107, 321-325.
- Magarelli, P.C., Jr., Hunter, B., Lightner, D.V., Colvin, L.B., 1979. Black death: an ascorbic acid deficiency disease in penaeid shrimp. *Comp. Biochem. Physiol.* 63A, 103-108.
- Mahajan, C.L., John, M.J., 1981. Haematological and haemopoietic studies in an air-breathing fish on cyanocobalamin and folacin deficient diet. *Scand. J. Haematol.* 27, 346-354.
- Marks, J., 1975. A guide to the vitamins. Their role in health and disease. Medical and Technical Publ., Lancaster, England, pp. 73-82.
- Martinez, C.D., Escobar, B.L., Olvera-nova, M.A., 1990. The requirement of

- Cilasoma urophthalmus* (Cunther) fry for pantothenic acid and the pantothenic signs of deficiency. *Aquacult. Fish. Manag.* 21, 145-156.
- Mathews, C.K., Van Holde, K.E., 1990. *Biochemistry*. Kanazawa, A., 1985. In "Prawn Feeds". Amer. Soybean. Assoc. (Taiwan). Taipei, Taiwan.
- McCollum, E.V., Davis, M., 1913. The necessity of certain lipids in the diet during growth. *J. Biol. Chem.* 15, 167-175.
- McDowell, L.R., 1989. Vitamins in animal nutrition. pp.236-255.
- McLaren, B.A., Keller, E., O' Donnell, D.J., Elvehjem, C.A., 1947. The nutrition of rainbow trout. I. Studies of vitamin requirements. *Arch. Biochem. Biophys.* 15, 169-178.
- Milne, D.B., Omaye, S.T., 1980. Effect of vitamin C on copper and iron metabolism in the guinea pig. *Int. J. Vit. Nutr. Res.* 50, 301-308.
- Minot, G.R., Murphy, W.P., 1926. *JAMA* 91, 923.
- Mitchell, H.K., Snell, E.E., Williams, R.J., 1941. The concentration of folic acid. *J. Am. Chem. Soc.* 63, 2284.
- Mohamed, J.S., 2001. Dietary pyridoxine requirement of the Indian catfish, *Heteropneustes fossilis*. *Aquaculture* 194, 327-335.
- Mohamed, J.S., Ibrahim, 2001. Quantifying the dietary niacin requirement of the Indian catfish, *Heteropneustes fossilis* (Bloch), fingerlings. *Aquaculture Res.* 32, 157-162.
- Mohamed, J.S., Ravisankar, B., Ibrahim, 2000. Quantifying the dietary biotin requirement of the catfish, *Clarias batrachus*. *Aquaculture Internat.* 8, 9-18.
- Montoya, N., Molina, C., 1995. Optimum supplemental level of L-ascorbyl-2-phosphate-Mg to diet for white shrimp *Penaeus vannamei*. *Fisheries Sci.* 61, 1045-1046.
- Morito, C.L.H., Conrad, D.H., Hilton, J.W., 1986. The thiamin deficiency signs and requirement of rainbow trout (*Salmo gairdneri*, Richardson). *Fish Physiol. Biochem.* 1, 93-104.
- Murai, T., Andrews, J.W., 1974. Interactions of dietary α -tocopherol, oxidized menhaden oil and ethoxyquin on channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *J. Nutr.* 104, 1416-1431.

- Murai, T., Andrews, J.W., 1977. Vitamin K and anticoagulant relationships in catfish diets. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 43, 785-794.
- Murai, T., Andrews, J.W., 1978a. Thiamin requirement of channel catfish fingerlings. *J. Nutr.* 108, 176-180.
- Murai, T., Andrews, J.W., 1978b. Riboflavin requirement of channel catfish fingerlings. *J. Nutr.* 108, 1512-1517.
- Murai, T., Andrews, J.W., 1979. Pantothenic acid requirements of channel catfish fingerlings. *J. Nutr.* 109, 1140-1142.
- Murata, H., Sakai, T., Yamauchi, K., Ito, T., Tsuda, T., Yoshida, T., Fukudome, M., 1996. In vivo lipid peroxidation levels and antioxidant activities of cultured and wild yellowtail. *Fisheries Sci.* 62, 64-68.
- National Research Council (NRC), 1977. Nutrition Requirement of Fish. National Academy Press, Washington, DC, pp. 1-78.
- National Research Council (NRC), 1981. Nutrition requirements of coldwater fishes. National Academy Press, Washington, USA, pp. 14-17.
- National Research Council (NRC), 1983. Nutrition requirements of warmwater fishes and shellfish. National Academy Press, Washington, USA, pp. 1-78.
- National Research Council (NRC), 1993. Nutrient requirement of fish. In *Nutrient Requirement of Domestic Animals*, No. 16. National Academic Press, Washington, DC, pp. 114.
- Navarre, O., Halver, J.E., 1989. Disease resistance and humoral antibody production in rainbow trout fed high levels of vitamin C. *Aquaculture* 79, 207-221.
- New, M.B., 1976. A review of dietary studies with shrimp and prawns. *Aquaculture* 9, 101-144.
- Ng, W.K., Serrini, G., Zhang, Z., Wilson, R.P., 1997. Niacin requirement and inability of tryptophan to act as a precursor of NAD⁺ in channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture* 152, 273-285.
- Niki, E., 1987. Interaction of ascorbate and α -tocopherol. *Am. N. Y. Acad. Sci.* 498, 186-199.
- Ogino, C., 1965. B vitamins requirements of carp, *Cyprinus carpio*-I. Deficiency

- symptoms and requirement of vitamin B6. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 31, 546-551.
- Ogino, C., 1967. B vitamin requirements of carp-II. Requirements for riboflavin and pantothenic acid. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 33, 351-354.
- Ogino, C., Watanabe, T., Kakino, J., Iwanaga, N., Mizuno, M., 1970a. B vitamin requirements of carp- III. Requirement for biotin. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 36, 734-740.
- Ogino, C., Uki, N., Watanabe, T., Iida, Z., Ando, K., 1970b. B vitamin requirements of carp-IV. Requirements for choline. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 36, 1140-1146.
- Panush, R.S., Delafuente, J.C., 1985. Vitamins and immunocompetence. World Rev. Nutr. Diet 45, 97-123.
- Peterson W.H., Peterson, M.S. 1945. Relationship of bacteria to vitamins and the other growth factor. Bacteriol. Rev. 9, 49-86.
- Phillips, A.M., 1963. Folic acid as an anti-anemia factor for brook trout. Prog. Fish-Cult. 25, 132-134.
- Phillips, A.M., Tunison, A.V., Shaffer, H.B., White, G.K., Sallivan, M.W., Vincent, C., Brockway, D.R., McCay, C.M., 1945. The nutrition of trout. The vitamin requirement of trout. Fish. Res. Bull. 7, 1-31.
- Phillips, A.M., Podoliak, H.A., Poston, H.A., Livingston, D.L., 1963. Cortland Hatchery Report, No. 32, 66-70.
- Post, G., 1987. Textbook of fish health. Revised and Expanded Edition, pp. 225-240.
- Poston, H.A., 1971. Effect of feeding excess vitamin A on the carbohydrate and lipid metabolism and growth of brook trout. In: Fisheries Research Bulletin, No. 34. Albany, N.Y., State of New York Conservation Department, pp. 22-26.
- Poston, H.A., 1976a. Relative effect of two dietary water-soluble analogues of menaquinone on coagulation and packed cell volume of blood of lake trout, *Salvelinus namaycush*. J. Fish. Res. Board Can. 33, 1791-1793.
- Poston, H.A., 1976b. Optimum level of dietary biotin for growth, feed utilization, and swimming stamina of fingerling lake trout. J. Fish. Res. Board Can. 33, 1803-1806.

- Poston, H.A., 1991. Response of Atlantic salmon fry to feedgrade lecithin and choline. *Prog. Fish-Cult.* 52, 218-225.
- Poston, H.A., Livingston, D.L., 1971. The influence of dietary levels of protein and vitamin A on the liver vitamin A level, lipid metabolism, and growth of brook trout. In: *Fisheries Research Bulletin*, No. 34. Albany, N.Y., State of New York Conservation Department, pp. 27-34.
- Poston, H.A., McCartney, T.H., 1974. Effect of dietary biotin and lipid on growth, stamina, lipid metabolism and biotin-containing enzymes in brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *J. Nutr.* 104, 315-322.
- Poston, H.A., Page, J.W., 1982. Gross and histological signs of dietary deficiencies of biotin and pantothenic acid in lake trout, *Salvelinus namaycush*. *Cornell Vet.* 72, 242-261.
- Poston, H.A., Wolfe, M.J., 1985. Niacin requirement for optimum growth, feed conversion and protection of rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, from ultraviolet-B-irradiation. *J. Fish Dis.* 8, 451-460.
- Roberts, R.J., Shepherd, C.J., 1986. *Handbook of Trout and Salmon Disease*. 2nd edition. Great Britain. pp. 160-167.
- Robinson, E.H., 1984. Vitamin requirements. In: Robinson, E.H., Lovell, R.T. (Eds.), *Nutrition and Feeding of channel catfish*. Southern cooperative series Bulletin, No. 296 pp. 21-25.
- Robinson, E.H., Lovell, R.T., 1978. Essentiality of biotin for channel catfish *Ictalurus punctatus* fed lipid and lipid-free diets. *J. Nutr.* 108, 1600-1605.
- Robinson, E.H., Wilson, R.P., 1985. Nutrition and Feeding. In: Tucker, C.S. (Ed.), *Channel Catfish Culture*. Netherlands, pp. 323-404.
- Roem, A.J., Kohler, C.C., Stickney, R.R., 1990a. Vitamin E requirements of the blue tilapia, *Oreochromis aureus*, in relation to dietary lipid level. *Aquaculture* 87, 155-164.
- Roem, A.J., Stickney, R.P., Kohler, C.C., 1990b. Vitamin requirements of blue tilapias in a recirculating water system. *Prog. Fish-Cult.* 52, 15-18.
- Roem, A.J., Stickney, R.P., Kohler, C.C., 1991. Dietary pantothenic acid requirement of the blue tilapia. *Prog. Fish-Cult.* 53, 216-219.

- Rumsey, G.L., 1991. Choline-betaine requirement of rainbow trout (*Onocorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 95, 107-116.
- Sakaguchi, H., Takeda, F., Tange, K., 1969. Studies on vitamin requirements by yellowtail-I. Vitamin B6 and vitamin C deficiency symptoms. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 35, 1201-1206.
- Sakti Vel, M., Sampath, K., Pandian, T.J., 1990. Dosage effect of pyridoxin, folacin and ascorbic acid on the blood parameters of *Cyprinus carpio*. In: Hirano, R., Hanyu, I. (Eds.), *The Second Asian Fisheries Forum*. Asian Fisheries Society, Manila, Philippines, pp. 263-266.
- Salte, R., Asgard, T., Liestol, K., 1988. Vitamin E and selenium prophylaxis against "Hitra disease" in farmed Atlantic salmon-a survival study. *Aquaculture* 75, 45-55.
- Sandnes, K., Torrissen, O., Waagboe, R., 1994. The minimum dietary requirement of vitamin C in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fry using Ca ascorbate-2-monophosphate as dietary source. *Fish Physiol. Biochem.* 10, 315-319.
- Sato, M., Yoshinake, R., Ikeda, S., 1978. Dietary ascorbic acid requirement of rainbow trout for growth and collagen formation. *Bull. Jpn. Soc. Ssi. Fish.* 44, 1029-1044.
- Sealey, W.M., Gatlin, D.M. III, 1999. Dietary vitamin C requirement of hybrid striped bass *Morone chrysops* × *M. saxatilis*. *Aquaculture Nutr.* 5, 247-249.
- Seib, P.A., Liang, Y.T., Lee, C.H., Hosney, R.C., Deyoe, C.W., 1974. Synthesis and stability of L- ascorbate-2-sulfate. *J. Chem. Soc. Perkin I.* 11, 1220.
- Serrini, G., Zhang, Z., Wilson, R.P., 1996. Dietary riboflavin requirement offingerling channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture* 139, 285-290.
- Shiau, S.Y., Chen, M.J., 1993. Carbohydrate utilization by tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) as influenced by different chromium sources. *J. Nutr.* 123, 1747-1753.
- Shiau, S.Y., Chen, Y., 2000. Estimation of the dietary vitamin A requirement of .

- juvenile grass shrimp, *Penaeus monodon*. J. Nutr. 130, 90-94
- Shiau, S.Y., Chin, Y.H., 1998. Dietary biotin requirement for maximum growth of juvenile grass shrimp, *Penaeus monodon*. J. Nutr. 128, 2494-2497.
- Shiau, S.Y., Chin, Y.H., 1999. Estimation of the dietary biotin requirement of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* $\times$ *O. aureus*. Aquaculture 170, 71-78.
- Shiau, S.Y., Cho, W.H., 2002. Choline requirements of grass shrimp, *Penaeus monodon*, is affected by dietary lipid level. Animal Sci., (in press).
- Shiau, S.Y., Hsieh, H.L., 1997. Vitamin B6 requirements of tilapia *Oreochromis niloticus* $\times$ *O. aureus* fed two dietary protein concentrations. Fisheries Sci. 6, 1002-1007.
- Shiau, S.Y., Hsu, C.W., 1999a. Dietary pantothenic acid requirement of juvenile grass shrimp, *Penaeus monodon*. J. Nutr. 129, 718-721.
- Shiau, S.Y., Hsu, C.Y., 2002. Vitamin E sparing effect by dietary vitamin C in juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* $\times$ *O. aureus*. Aquaculture, (in press).
- Shiau, S.Y., Hsu, T.S., 1993. Stability of ascorbic acid in shrimp feed during the analysis. Nippon Suisan Gakkaishi 59, 1535-1537.
- Shiau, S.Y., Hsu, T.S., 1994. Vitamin C requirement of grass shrimp, *Penaeus monodon*, as determined with L-ascorbyl-2-monophosphate. Aquaculture 122, 347-357.
- Shiau, S.Y., Hsu, T.S., 1995. L-Ascorbyl-2-sulfate has equal antiscorbutic activity as L-ascorbyl-2-monophosphate for tilapia, *Oreochromis niloticus* $\times$ *O. aureus*. Aquaculture 133, 147-157.
- Shiau, S.Y., Hsu, T.S., 1999b. Quantification of vitamin C requirement for juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* $\times$ *O. aureus*, with L-ascorbyl-2-monophosphate-Na and L-ascorbyl-2-monophosphate-Mg. Aquaculture 175, 317-326.
- Shiau, S.Y., Huang, S.Y., 2001a. Dietary folic acid requirement for maximum growth of juvenile tilapia *Oreochromis niloticus* $\times$ *O. aureus*. Fisheries Sci. 67, 655-659.

- Shiau, S.Y., Huang, S.Y., 2001b. Dietary folic acid requirement determined for grass shrimp, *Penaeus monodon*. Aquaculture 200, 339-347.
- Shiau, S. Y., Hwang, J. Y., 1993. Vitamin D requirements of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* $\times$ *O. aureus*. Nippon Suisan Gakkaishi 59, 553-558.
- Shiau, S.Y., Hwang, J.Y., 1994. The dietary requirement of juvenile grass shrimp, *Penaeus monodon*, for vitamin D. J. Nutr. 124, 2445-2450.
- Shiau, S.Y., Jan, F.L., 1992a. Dietary ascorbic acid requirement of juvenile tilapia *Oreochromis niloticus* $\times$ *O. aureus*. Nippon Suisan Gakkaishi 58, 671-675.
- Shiau, S.Y., Jan, F.L., 1992b. Ascorbic acid requirement of grass shrimp, *Penaeus monodon*. Nippon Suisan Gakkaishi 58, 363.
- Shiau, S.Y., Lung, C.Q., 1993a. No dietary vitamin B12 required for juvenile tilapia *Oreochromis niloticus* $\times$ *O. aureus*. Comp. Biochem. Physiol. 105A, 147-150.
- Shiau, S.Y., Lung, C.Q., 1993b. Estimation of the vitamin B12 requirement of the grass shrimp, *Penaeus monodon*. Aquaculture 117, 157-163.
- Shiau, S.Y., Lin, S.F., 1993. Effect of supplemental dietary chromium and vanadium on the utilization of different carbohydrates in tilapia, *Oreochromis niloticus* $\times$ *O. aureus*. Aquaculture 110, 321-330.
- Shiau, S.Y., Liu, J.S., 1994a. Quantifying the vitamin K requirement of juvenile marine shrimp, *Penaeus monodon*, with menadione. J. Nutr. 124, 277-282.
- Shiau, S. Y., Liu, J.S., 1994b. Estimation of the dietary vitamin K requirement of juvenile *Penaeus chinensis* using menadione. Aquaculture 126, 129-135.
- Shiau, S.Y., Lo, P.S., 2000. Dietary choline requirements of juvenile hybride tilapia, *Oreochromis niloticus* $\times$ *O. aureus*. J. Nutr. 130, 100-103.
- Shiau, S.Y., Lo, P.S., 2001. Dietary choline requirement of juvenile grass shrimp, *Penaeus monodon*. Animal Sci. 72, 477-482.
- Shiau, S.Y., Suen, G.S., 1992. Estimation of the niacin requirements for tilapia fed diets containing glucose or dextrin. J. Nutr. 122, 2030-2036.
- Shiau, S.Y., Suen, G.S., 1994. The dietary requirement of juvenile grass shrimp

- (*Penaeus monodon*) for niacin. *Aquaculture* 25, 139-145.
- Shigueno, K., Itoh, S., 1988. Use of Mg-L-ascorbyl-2-monophosphate as a vitamin C source in shrimp diets. *J. World Aquacult. Soc.* 19, 168-174.
- Shim, K.F., Tan, C.H., 1989. The dietary requirement of vitamin A in guppy (*Poecilia reticulata* Peters). In: Takeda, M., Watanabe, T. (Eds.), *Proceeding of the Third International Symposium Nutrition in Aquaculture*, Toba, Japan, pp. 133-140.
- Shimeno, S., 1991. Yellowtail, *Seriola quinqueradiata*. In: *Handbook of Nutrition Requirement of Finfish*, Wilson, R.P. (Ed.), Boca Raton, pp. 181-191.
- Siegel, B.V., 1974. *Infect. Immunol.* 10, 409-410.
- Sies, H., Stahl, W., Sundguist, A.R., 1992. Antioxidant functions of vitamins: vitamin E and C, β -carotene, and other carotenoids. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 669, 7-20.
- Smith, C.E., 1968. Hematological changes in coho salmon fed a folic acid deficient diet. *J. Fish. Res. Board Can.* 25, 151-156.
- Smith, C.M., Bidlack, W.R., 1980. Interrelationship of dietary ascorbic acid and iron on the tissue distribution of ascorbic acid, iron and copper in female guinea pigs. *J. Nutr.* 110, 1398-1408.
- Smith, C.E., Halver, J.E., 1969. Folic acid anemia in coho salmon. *J. Fish. Res. Board Can.* 26, 111-114.
- Smith, C.E., Brin, M., Halver, J.E., 1974. Biochemical, physiological, and pathological changes in pyridoxine deficient rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Fish. Res. Board Can.* 31, 1893-1898.
- Snieszko, S.F., 1972. Nutritional fish disease. In: Halver, J.E. (Ed.), *Fish Nutrition*. Academic Press. New York, pp. 403-437.
- Soliman, A.K., Wilson, R.P., 1992a. Water-soluble vitamin requirements of tilapia. 2. Riboflavin requirement of blue tilapia, *Oreochromis aureus*. *Aquaculture* 104, 309-314.
- Soliman, A.K., Wilson, R.P., 1992b. Water-soluble vitamin requirements of tilapia. 1. Pantothenic acid requirement of blue tilapia, *Oreochromis aureus*. *Aquaculture* 104, 121-126.

- Soliman, A.K., Jauncey, K., Roberts, R.J., 1987. Stability of L-ascorbic acid and its forms in fish feeds during processing, storage and leaching. *Aquaculture* 60, 73-83.
- Soliman, A.K., Jauncey, K., Roberts, R.J., 1994. Water-soluble vitamin requirements of tilapia: ascorbic acid (vitamin C) requirement of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture and Fisheries Management* 25, 269-278.
- Strecker, A., 1862. Über Einige Neue Bestandtheile der Schweingalle. *Ann. Chem. Pharmacie* 123, 353-360.
- Stickney, R.R., McGeachin, R.B., Lewis, D.H., Marks, J., Sis, R.F., Robinson, E.H., Wurts, W., 1984. Responses of *Tilapia aurea* to dietary vitamin C. *J. World Aquacult. Soc.* 15, 179-185.
- Sugita, H., Miyajima, C., Deguchi, Y., 1990. The vitamin B12 producing ability of intestinal bacteria isolated from tilapia and channel catfish. *Nippon Suisan Gakkaishi* 56, 701.
- Sugita, H., Miyajima, C., Deguchi, Y., 1991a. Vitamin B12 producing ability of the intestinal microflora of fresh water fish. *Aquaculture* 92, 267-276.
- Sugita, H., Takahashi, J., Miyajima, C., Deguchi, Y., 1991b. Vitamin B12 producing ability of the intestinal microflora of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Agric. Biol. Chem.* 55, 893-894.
- Suzuki, Y., Ai, T., 1989. IHN resistance with megadose ascorbic acid in rainbow trout, *Salmo gairdneri* fry. *Bull. Shizuoka Pref. Fish. Exp. Stn.* 24, 25-29.
- Takeuchi, L., Takeuchi, T., Ogino, C., 1980. Riboflavin requirements in carp and rainbow trout. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 46, 733-737.
- Takeuchi, T., Watanabe, K., Satoh, S., Watanabe, T., 1992. Requirement of grass carp fingerlings for α -tocopherol. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 58, 1743-1749.
- Takeuchi, T., Dedi, J., Ebisawa, C., Watanabe, T., Seikai, T., Hosoya, K., Nalazoe, J.I., 1995. The effect β -carotene and vitamin A enriched *Artemia nauplii* on the malformation and color abnormality of larval Japanese flounder. *Fisheries Sci.* 61, 141-148.

- Taveekijakarn, P., Miuzaki, T., Matsumoto, M., Arai, S., 1994. Vitamin A deficiency in cherry salmon. *J. Aquat. Anim. Health* 6, 251-259.
- Thompson, I., White, A., Fletcher, T.C., Houlihan, D.F., Secombes, C.J., 1993. The effect of stress on the immune responses of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed diets containing different amounts of vitamin C. *Aquaculture* 114, 1-18.
- Tolbert, B.M., Downing, M., Carlson, R.W., Knight, M.K., Baker, E.M., 1975. Chemistry and metabolism of ascorbic acid and ascorbate sulfate. *Ann. N. Y. Acad. Soc.* 258, 48-69.
- Tung, P.H., Shiau, S.Y., 1991. Effect of meal frequency on growth performance of hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* $\times$ *O. aureus*, fed different carbohydrate diets. *Aquaculture* 92, 343-350.
- Twibell, R.G., Brown, P.B., 2000. Dietary choline requirement of juvenile yellow perch (*Perca flavescens*). *J. Nutr.* 130, 95-99.
- Van Campen, D., Gross, E., 1968. Influence of ascorbic acid on the absorption of copper by rat. *J. Nutr.* 95, 617-622.
- Wahli, T., Frischknecht, R., Schmitt, M., Gabaudan, J., Verlhac, V., Meier, W., 1995. A comparison of the effect of silicone coated ascorbic acid and ascorbyl phosphate on the course of ichthyophthiriosis in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *J. Fish Dis.* 18, 347-355.
- Wasserman, R.H., Taylor, A.N., 1968. Vitamin D-dependent Ca-binding protein: response to some physiological and nutritional variables. *J. Biol. Chem.* 243, 3987-3992.
- Watanabe, T., Takashima, F., Ogino, C., Hibiya, T., 1970a. Effect of α -tocopherol deficiency on carp. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 36, 623-630.
- Watanabe, T., Takashima, F., Ogino, C., Hibiya, T., 1970b. Requirement of young carp for α -tocopherol. *Bull. Jpn. Soc. Fish.* 36, 1463-1471.
- Watanabe, T., Takeuchi, T., Wada, M., 1981. Dietary lipid levels and α -tocopherol requirement of carp. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 47, 1585-1590.
- Williams, R.J., Lyman, C.W., Goodyear, G.H., Truesdail, J.H., Holiday, D., 1933. Pantothenic acid, a growth determinant of universal biological occurrence.

- J. Am. Chem. Soc. 55, 2912.
- Wilson, R.P., Poe, W.E., 1973. Impaired collagen formation in the scorbutic channel catfish. J. Nutr. 103, 1359-1364.
- Wilson, R.P., Poe, W.E., 1988. Choline nutrition of fingerling channel catfish. Aquaculture 68, 65-71.
- Wilson, R.P., Bowser, P.R., Poe, W.E., 1983. Dietary pantothenic acid requirement of fingerling catfish. J. Nutr. 113, 2224-2228.
- Wilson, R.P., Bowser, R.P., Poe, W.E., 1984. Dietary vitamin E requirement of fingerling channel catfish. J. Nutr. 114, 2053-2058.
- Wood, E.M., Yasutake, W.T., 1957. Histopathology of fish-V. Gill disease. Prog. Fish-Cult. 19, 7-13.
- Woodall, A.N., Ashley, L.M., Halver, J.E., Olcott, H. S., Veen, J.V.D., 1964. Nutrition of salmonid fishes XIII: The α -tocopherol requirement of chinook salmon. J. Nutr. 84, 125-135.
- Woods, M.N., Hegsted, D.M., 1979. Quantitative and qualitative changes in phospholipid in the intestine of the gerbil and the development of lipodystrophy. J. Nutr. 109, 2146-2151.
- Woodward, W.D., 1983. Riboflavin nutrition of the rainbow trout. Proceedings of the 17th annual nutrition conference for feed manufacturers. pp. 102-107.
- Woodward, W.D., 1984. Symptoms of severe riboflavin deficiency without ocular opacity in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Aquaculture 39, 29-75-281.
- Woodward, B., 1989. Dietary requirements of some water soluble vitamins for young rainbow trout. In: Proceedings of the 25th Annual Nutrition Conference for Feed Manufacturers, Toronto, Ontario, pp. 25-33.
- Woodward, B., Frigg, M., 1989. Dietary biotin requirements of young rainbow trout (*Salmo gairdneri*) determined by weight gain, hepatic biotin concentration and maximal biotin-dependent enzyme activities in liver and white muscle. J. Nutr. 119, 54-60.
- Wu, M.S., 2000. Vitamin B6 requirements of juvenile grass shrimp, *Penaeus monodon* and juvenile malabar grouper, *Epinephelus malabaricus*. Master

- thesis, National Taiwan Ocean University, Keelung, Taiwan.
- Yamamoto, Y., Sato, M., Ikeda, S., 1978. Existence of L-gulonolactone in the teleosts. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 44, 775-779.
- Yano, T., Nakao, M., Furuichi, M., 1988. Effects of dietary choline, pantothenic acid and vitamin C on the serum complement activity of red sea bream. *Nippon Suisan Gakkaishi* 205, 141-144.
- Yao, Z., Vance, D.E., 1988. The active synthesis of phosphatidylcholine is required for very low density lipoprotein secretion from rat hepatocytes. *J. Biol. Chem.* 263, 2998-3004.
- Yone, Y., Furuichi, M., Shitanda, K., 1971. Vitamin requirements of the red sea bream. I. Relationship between inositol requirements and glucose in the diet. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 37, 149-155.
- Zeisel, S.H., 1990. Choline deficiency. *J. Nutr. Biochem.* 1, 332-349.
- Zeisel, S.H., 1994. Choline and human nutrition. *Ann. Rev. Nutr.* 14, 269-296.
- Zeisel, S.H., Growdon, J.H., Wurtman, R.J., Magil, S.G., Logue, M., 1980. Normal plasma choline responses to ingested lecithin. *Neurology* 30, 1226-1229

6. 附錄、常見水產動物中英文俗名、學名對照表

中文俗名	英文俗名	學名
鯉魚	common carp	<i>Cyprinus carpio</i>
印度鯉魚	rohu	<i>Labeo rohita</i>
河魨	channel catfish	<i>Ictalurs punctatus</i>
虹鱒	rainbow trout	<i>Oncorhynchus mykiss</i> (<i>Salmo gairdneri</i>)
河鱒	brook trout	<i>Salvelinus fontinalis</i>
褐鱒	brown trout	<i>Salmo trutta</i>
湖鱒	lake trout	<i>Salvelinus namaycush</i>
大西洋鮭	Atlantic salmon	<i>Salmo salar</i>
大鱗鮭魚	chinook salmon	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>
銀鮭魚	coho salmon	<i>Oncorhynchus kisutch</i>
櫻花鮭	cherry salmon	<i>Oncorhynchus masou</i>
嘉鱻(真鯛)	red sea bream	<i>Chrysophrys major</i> (<i>Pagrus major</i>)
金頭鯛	gilthead bream	<i>Sparus auratus</i>
青甘鯨(鯽魚)	yellowtail	<i>Seriola quinqueradiata</i>
紅鼓魚	red drum	<i>Sciaenops ocellatus</i>
比目魚	flounder	<i>Paralichthys olivaccus</i>
大比目魚	turbot	<i>Scophthalmus maximus</i>
塘虱魚	walking catfish	<i>Clarias batrachus</i>
草魚	grass carp	<i>Ctenopharyngodon idellus</i>
高首鱈	white sturgeon	<i>Acipenser transmontanus</i>
雜交條紋鱸	hybrid striped bass	<i>Morone saxatilis</i> × <i>M. chrysops</i>
—	sunshine bass	<i>Morone chrysops</i> × <i>M. saxatilis</i>
瑪拉巴石斑	malabar grouper	<i>Epinephelus malabaricus</i>
藍點石斑	—	<i>Channa punctatus</i>
青魚	—	<i>Clupea harengus</i>
藍色吳郭魚	blue tilapia	<i>Oreochromis aureus</i>
紅色吳郭魚	red tilapia	<i>Oreochromis niloticus</i>
—	—	<i>Oreochromis spilurus</i>
雜交吳郭魚	hybrid tilapia	<i>Oreochromis niloticus</i> × <i>O. aureus</i>
紅色雜交吳郭魚	red hybrid tilapia	<i>Oreochromis mossambicus</i> × <i>O. niloticus</i>
虎河豚	tiger puffer	<i>Takifugu rubripes</i>
日本鰻	Japanese eel	<i>Anguilla japonica</i>
—	white fish	<i>Coregonus lavaretu</i>

—	yellow perch	<i>Perca flavescens</i>
—	Mexican cichlid	<i>Cichlasoma urophthalmus</i>
孔雀魚	guppy	<i>Poecilia reticulata</i>
鸚鵡魚	parrot fish	<i>Oplegnthus faciatus</i>
印度鯰魚	Indian catfish	<i>Heteropneustes fossilis</i>
—	Korean rockfish	<i>Sebastes schlegeli</i>
藍蝦	—	<i>Litopenaeus stylirostris</i>
美洲白蝦	white-legged shrimp	<i>Litopenaeus vannamei</i>
斑節蝦	kuruma shrimp	<i>Marsupenaeus japonicus</i>
淡水長臂大蝦	giant asian prawn	<i>Macrobrachium rosenbergii</i>
草蝦	grass shrimp	<i>Penaeus monodon</i>
北褐蝦	—	<i>Farfantepenaeus aztecus</i>
加州蝦	—	<i>Farfantepenaeus californiensis</i>
中國對蝦	—	<i>Fenneropenaeus chinensis</i>
