

不同鹽度變化對金目鱸適應行為之觀察

賴哲翊、林如謙、郭錦朱、張博淵、周瑞良、吳豐成
水產試驗所東港生技研究中心



氣候變遷的影響

近年來，在全球氣候變遷日益嚴重的問題下，臺灣也面臨了相同的衝擊，雖然平均年降雨量的增加並不明顯，但是乾旱發生的頻率及短延時強降雨類型的天氣型態卻呈現逐年增加的現象 (吳等, 2010; 蔡等, 2021)，而這些現象對臺灣的水產養殖產業也會帶來負面的影響 (劉, 2012)。當強降雨將大量的雨水帶進養殖池中，首當其衝的是池水鹽度的淡化。鹽度過快的變化對養殖物滲透壓調節能力不啻為一種考驗，如果匯集而來的雨水造成環境惡化或其它不良影響，更有可能會出現損失，影響養殖的成效和收益。

廣鹽性魚類金目鱸的特性

金目鱸 (*Lates calcarifer*) 是一種廣鹽性魚類，屬於鱸形目 (Perciformes) 尖嘴鱸科 (Latidae)，棲息地分布於沿海海域及河口，或是與海洋相連的溪流及湖泊等淡水水體中。成長至 3—4 年會成為成魚，在淡水水域中性腺並不會發育，因此會由淡水向河口遷移到海水中。在鹽度約 28—34 psu 的海水環境中金目鱸會性成熟隨後產卵 (Russell, 2014)，幼魚在沿海或河口孵化，接著會向河流上游遷移及生長，約 1 cm 大小的幼魚即可

生存在淡水湖泊之中 (Bhatia and Kungvankij, 1971)。金目鱸幼魚是雜食性，以浮游生物、藻類、小蝦及小魚等為食，但稍長就會轉為完全肉食性，以捕食甲殼類及其它魚類作為食物來源 (Mathew, 2009)。該魚可以高密度養殖，對飼料利用率高，具有成長快速特性，在 6 個月至 2 年內即可長成 350 g—3 kg 市場需求的體型，因此在許多地區及國家均有商業養殖，在臺灣金目鱸是主要的養殖魚種之一。

魚類生活在水中，隨著鹽度的變化體內的水分和鹽分也會呈現不同的移動方向，在高鹽度的海水中魚類會傾向於被動的獲得鹽分及失去水分，而沒有鹽度的淡水中則相反的失去鹽分及獲得水分，這對維持魚類體內滲透壓的平衡是不利的。廣鹽性魚類具有多種主動消耗能量的機制來維持及調節滲透壓平衡，透過這種強大的能力使它們可以生活在鹽度相差甚大的環境。鰓、腸及腎臟是廣鹽性魚類調節滲透壓的主要器官 (Evans et al., 2005)，在海水中，廣鹽性魚類透過喝海水的方式由腸子來吸收水分，並由鰓上的氯細胞 (chloride cell) 排出多餘的氯離子及鈉離子，並且腎臟也會排出高離子濃度的尿液來平衡體內的滲透壓。在淡水中則是相反，為了避免體內的離子流失，廣鹽性魚類會回收尿液中的電解質，大量排出低離子濃度的

尿液，鰓上的氯細胞形態也會發生變化，變成吸收環境中的離子來平衡體內的滲透壓 (Lam et al., 2014)。

大多數的研究均表明金目鱸擁有大範圍的鹽度適應能力，從完全沒有鹽度的淡水到 50 psu 的鹽度都能活存 (Azodi et al., 2021)，較適合成長的鹽度範圍介於 15–35 psu 間 (Saghafiankho et al., 2020)，不同的鹽度的變化也會對金目鱸適應滲透壓的機制帶來改變。從細胞型態來看，當金目鱸的鰓暴露於高鹽度環境時，會使位於鰓的氯細胞顯著增加，以排出多餘離子來平滲透壓，當鹽度降低時，氯細胞數量則會明顯減少。而轉移至淡水中會使氯細胞的型態及功能發生改變，使原本的電解質排泄功能轉變成吸收功能，從環境中主動取得鹽分來維持體內的滲透壓 (Whitehead et al., 2013)。從鰓轉錄組 (transcriptome) 表現的分子層次來看，金目鱸鰓氯細胞上的鈉鉀-ATPase ($\text{Na}^+\text{-K}^+$ ATPase, *NKA*) 可以轉移 3 個鈉離子出細胞外及 2 個鉀離子進細胞內形成離子梯度，是作為離子主動運輸時提供動力來源的重要蛋白質。在高鹽度環境下 *NKA* 會被大量表現以提供足夠的動力來適應環境，當鹽度下降到對金目鱸而言較舒適的環境時 *NKA* 的表現也會降低，但當處於完全淡水的環境下，*NKA* 的表現又會低幅度的上升以適應完全淡水環境的離子平衡 (Saghafiankho et al., 2020)。鈉鉀氯共轉運蛋白 ($\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-2Cl}^-$ cotransporter, *NKCC*) 是氯離子運輸的重要蛋白質，可以藉著轉移鈉及鉀離子來共同轉移氯離子，金目鱸在高鹽度環境下為了適應環境，鰓組織中的 *NKCC* 同樣會被大量表現出來，而當鹽

度下降其表現也會隨之降低 (Tipsmark et al., 2004)，這點和 *NKA* 有著類似的變化。纖維性囊腫跨膜傳導調節蛋白 (cystic fibrosis transmembrane conductance regulator, *CFTR*) 同樣是氯細胞上的一種膜蛋白，其功能是作為氯離子通道來排出細胞內高濃度的氯離子，在高鹽的環境下 *CFTR* 的表現同樣會較高以把多餘的氯離子排出體外 (Zhang et al., 2019)。

除了鰓部外，腎臟一樣是金目鱸等廣鹽性魚類滲透壓的調節器官，具有過濾血液中水分形成尿液的功能，同時可以將尿液中的離子再吸收回來，對體內離子平衡起著重要的作用。處於海水中的金目鱸，其腎小球 (glomeruli) 相較於淡水中會呈現萎縮狀態，如此一來將使得尿量減少，再加上近曲小管 (proximal convoluted tubule) 及遠曲小管 (distal convoluted tubule) 回收水分的功能，尿液將會被濃縮形成比海水更高張的離子濃度後排出，避免過多的鹽分進入到魚體造成失衡。而處於淡水中的金目鱸為了要排掉體內大量的水分，因此會有發展良好的腎小球，可以透過離子再吸收機制來排掉大量的低張尿液維持體內平衡 (Greenwell et al., 2003)。腎臟同時有平衡體內酸鹼值的功能，當金目鱸在海水中排泄大量電解質同時也會排掉 HCO_3^- ，將會影響體內碳酸鹽系統的酸鹼值平衡機制，此時近曲小管內會分泌酸來增加 HCO_3^- 的再吸收，腎臟也會表達出更高的碳酸氫鹽回收基因來提供再吸收所需要主動運輸的動力 (Vij et al., 2020)。由以上研究可以看出金目鱸具備可以良好適應鹽度遽變的能力，足以適應養殖期間遭遇強降雨使養

殖池鹽度變化太大的逆境。因此本試驗設計不同鹽度變化條件下，觀察鹽度變化對金目鱸行為及攝食的影響，並驗證金目鱸對各種鹽度變化的適應能力。

模擬不同降雨量

依據交通部中央氣象局降雨量標準，每日降雨強度 200 mm 以上為豪雨，350 mm 以上為大豪雨，500 mm 以上為超大豪雨，而 2009 年莫拉克颱風最大降雨強度為 1,623.5 mm。以金目鱸 (36.8 ± 3.1 g) 為試驗對象，隨機置於四組模擬不同降雨量之試驗組，每桶 25 尾蓄養於 300 L 的圓型玻璃纖維桶中，蓄養密度約 4 g/L，各組別均進行三重複。試驗魚經蓄養在海水 (35 psu) 中適應 2 週後始進行試驗，試驗進行前先將試驗魚餵飽至不再進食，以觀察魚隻在經歷不同強度淡化時是否有適應不良吐料的反應。試驗用淡水經暴氣至少 24 小時，從原始鹽度 (35 psu) 分別以上述雨量的流量注入各桶槽中 (分別為豪雨組、大豪雨組、超大豪雨組及莫拉克雨組)，模擬不同降雨強度對海水淡化的情形，並觀察金目鱸適應時的反應及吐料情形。當養殖水鹽度淡化至 10 psu 後 (圖 1)，流水方式改以已調和至 10 psu 的水代替，飼養 2 週以觀察後續適應情形。觀察顯示，在淡化期間所有組別的試驗魚均沒有發生吐料情形，且僅有莫拉克雨組的魚隻有些許躁動情形。當所有組別都淡化到 10 psu 時，所有魚隻均表現出良好的適應情況，之後再繼續觀察 2 週也均無死亡情形發生，顯示出金目鱸對於不同降雨強度的淡化都可以有效適應。

模擬瞬間強降雨

瞬間強降雨可以快速淡化養殖池水，雖可經由上排方式溢流掉部分淡水，但本試驗仍假設降雨的水量完全參與淡化的作用。金目鱸和前述試驗同樣方式，分為四個組別，模擬超過莫拉克颱風最大降雨強度的淡水注入各組桶槽中，將海水鹽度在 10 小時內降低至設定值，分別為 25 psu 組、20 psu 組、15 psu 組及 10 psu 組。直至設定的鹽度即停止注入淡水，並以調和好鹽度的海水流水，記錄各組別的鹽度變化 (圖 2)。觀察魚隻的吃料行為及吐料情形，結果顯示金目鱸對強降雨具有良好的耐受性，行為上除了一開始有些許躁動外，表現均無異常。投餵料時均攝食正常，也沒有吐料情形發生，經持續觀察 2 週，期間亦無死亡情形發生，顯示瞬間強降雨對金目鱸而言並非問題。

結語

無論不同的降雨強度或是瞬間強降雨，金目鱸都表現出非常良好的適應能力，可以證明即使是在極端氣候的強降雨環境下，鹽度的改變都不會對金目鱸造成危害，但是 Gu 等 (2018) 指出鹽度會影響魚類免疫相關的基因表現。鰓粘液 (gill mucous) 是魚類重要的免疫保護機制，可以防止物理性和污染物的傷害，也是防止病原菌和病毒感染的第一道防線。海水環境下魚類鰓上面的粘液細胞 (mucous cell) 會比淡水中還多，而且調控粘液生成的相關基因 (mucin5、AQPs 等) 表現也會因海水環境而上調 (Roberts and Powell,

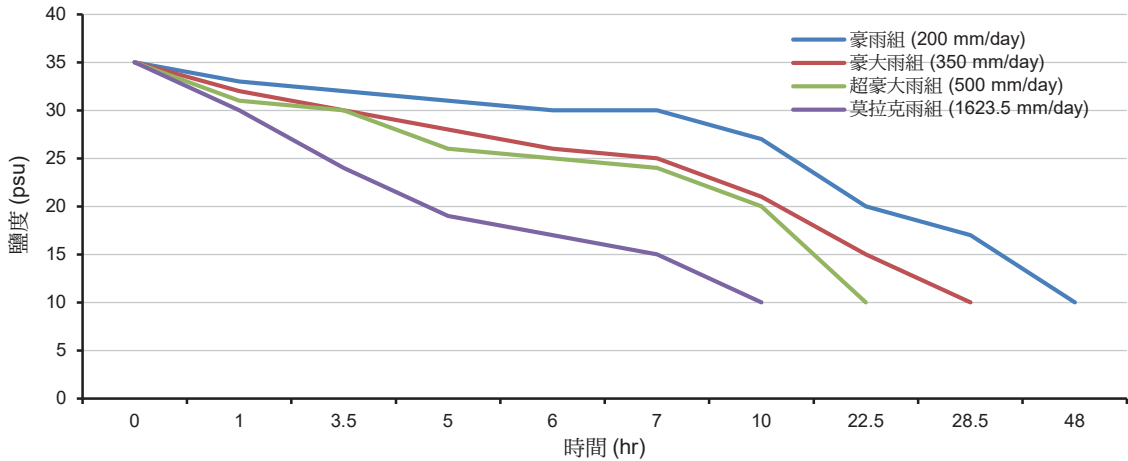


圖 1 模擬不同降雨量下鹽度的變化

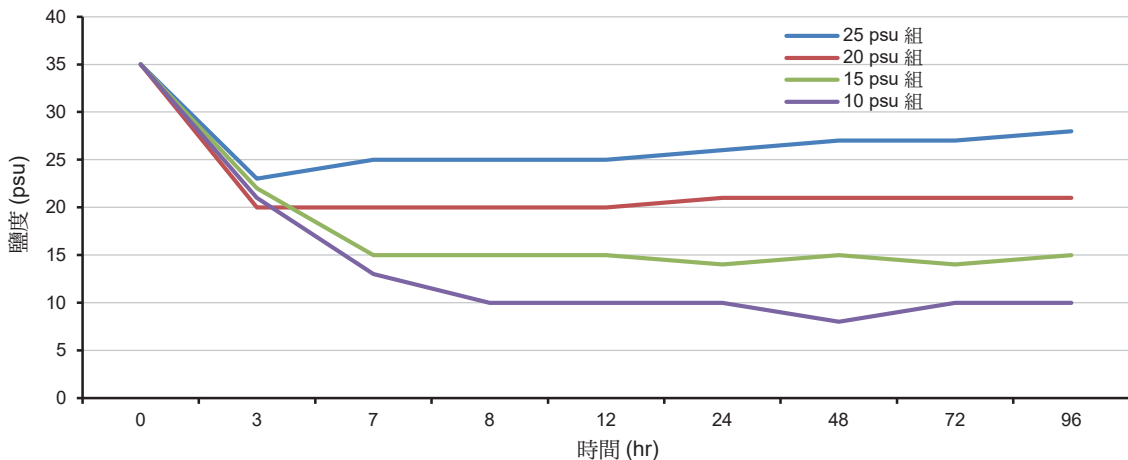


圖 2 模擬瞬間強降雨下鹽度的變化

2003; Powell, 2007), 因此如果經由淡化導致降低鰓粘液的功能, 有可能會減弱金目鱸對外界的防禦。促炎細胞因子 (inflammatory cytokine) 可以通過誘導嗜中性球向被病原體感染的部位遷移來引起發炎反應, 並透過發炎反應消滅病原體 (Uribe et al., 2011), 其中 IL-1 β 基因在金目鱸肝臟中最佳的表現在鹽度 15–35 psu 之間, 在淡水及高鹽度 (50 psu) 中均會被降低 (Azodi et al., 2021)。溶菌酶 (lysozyme) 則可以透過水解細菌的細胞

壁來殺死細菌, 達到免疫的功能, 魚類血清或血漿中溶菌酶活性同樣會被鹽度環境所調控, 淡水中的金目鱸會有較低的溶菌酶表現, 這種現象除了金目鱸外, 也在其他魚類的身上發現同樣的情形 (Marc et al., 1995; Kim et al., 2017)。以上研究結果顯示, 在淡水中可能會對金目鱸的免疫能力有不利影響, 因此在強降雨過後的淡化養殖池, 更應該優先控管及做好降低病原的數量, 以及做好投餵管理。