

第十一章 水生動物之環境與飼養管理

水生動物 (Aquatic Animals)

魚類、水生或半水生的蟲類動物及兩生類動物的養殖環境需求，跟牠們的種類數量一樣，是不同且須多樣化考量的。本章節的目的在於提供設施管理人員、獸醫和 IACUCs 有關水產動物管理系統的基本資料。若需尋求更具體的建議，可以搜尋其他已發表的文獻和期刊評論，並向有經驗的水生動物照顧人員諮詢細節。

一、水生環境 (Aquatic Environment)

(一)、微環境和大環境 (Microenvironment and Macroenvironment)

跟陸生動物一樣，微環境是指直接在動物周圍的物理環境，亦即初級圍封 (primary enclosure) 如水缸 (tank)、水道 (raceway) 或池塘。它包含所有與該動物直接接觸的物質，還提供限制動物的切身環境 (immediate environment)。微環境的特點是由許多因素構成，包括水質、光照、噪音、振動和溫度。物理環境上的次級圍封 (secondary enclosure)，例如一個房間，構成了大環境。

(二)、水質 (Water Quality)

水的成分 (水質) 是水生動物福祉考量上必不可少的，儘管其他影響陸生動物的因素也會跟水生動物的微環境有關。水生動物所需的水質參數和生命支持系統，將隨著動物品種、生命階段、系統中應支持的總生物質 (total biomass)，以及動物的用途而決定。該系統的成功與充足性，是基於實驗室棲息地與其自然棲息地的匹配程度。

影響水質適當性的因素包括：溫度、pH 值、鹼度、含氮廢物 (氨、硝酸鹽、亞硝酸鹽)、磷、氯/溴、氧化還原電位、導電度/鹽度、硬度 (滲透壓/溶解的礦物質)、溶解氧，總氣體壓力、離子和金屬含量，以及已建立的水缸微生物生態體系。水質參數可以直接影響動物的福祉；不同類別、品種和年齡的物種可能有不同的水質變化需求和較敏感的水質參數要求。在穩定供應的水產業中，常規性地測量各種水質特性 (水質測試) 是必要的作法。根據動物使用計劃的大小，可確立在機構或個別動物使用者可接受的水質標準、進行測試的適當參數、測試頻率。水生動物生態系統管理的工作人員需要接受適當的培訓，了解生物方面的相關水化學，水質參數如何影響動物的健康和福祉，如何監測水質結果，以及水質如何影響生命支持系統的功能 (例如，生物過濾)。

從連續監測到定點抽測所得到的具體參數和測試頻率有很大的不同 (取決於不同的種類、生命階段，系統和特定參數)。新成立的系統和族群，或進行改變的畜養程序，可能需要更頻繁的評估生態系統是否穩定。已穩定的環境可能不需要那麼頻繁的測試。可能需要特別考慮來自系統構成的毒素，特別是在新建構的

系統，例如從施工材料、混凝土、結合點混合物 (joint compounds) 和密封劑 (sealants) 釋放的化學物質。氯和氯胺 (chlorine and chloramines) 可用來消毒人類飲用水、或是消毒設備，但對魚類跟兩生動物具有毒性，使用在水生系統之前，必須除掉或加以中和。

(三)、生命支持系統 (Life Support System)

生命支持系統是指用來包括水和動物的物理結構，以及用來移動或處理水質的附屬設備。生命支持系統可以很簡單，例如一個包含動物和水的容器，或極其複雜的全自動循環系統。生命支持系統的類型取決於幾個因素，包括該品種的自然棲息地、年齡/品種大小、動物數量的維持、可用性、特定水質要求和研究類型。生命支持系統通常分為三類：再循環水系統，指全部或部分的水是處於移動圍繞狀態；流動系統中的水是不斷地更換通過的狀態；靜態系統中的水是靜止的，並定期補充或更換。水可能是淡水、半鹹水、或鹽水，根據不同物種的需求而保持在特定溫度。水的來源一般分為四大類：一、經過處理的水（如自來水）、二、地表水（如河流，湖泊或海洋）、三、保護水 (protected water，如水井或含水層地下水庫的水)、四、人工水（如逆滲透或蒸餾水）。人工海水可加入適量的鹽成為新鮮水源。水源的選擇應考慮 (一) 一致的或穩定的供應、(二) 生物安全的管控機制、(三) 水量的需求、(四) 物種的需求、(五) 研究方向的考量。

再循環水系統是常見的高密度室內研究設置。大多數的再循環水系統設計成在單位時間內交流特定體積的水，並定期引進新鮮的水進入系統。這些系統具有最機械性先進的生物過濾器 (biofilters)，透過硝化細菌促進氨轉換成硝酸鹽和亞硝酸鹽，透過化氮器 [(protein skimmers (foam fractionators)] 和微粒過濾器以除去未溶解或溶解的蛋白質和其他顆粒物，透過碳過濾器 (carbon filters) 以除去溶解的化學物質，並透過紫外線或臭氧消毒循環水。該系統一般包含 1.曝氣和去氣的組件 (components to aerate and degas)，以防止水氣過飽和，2.加熱或冷卻系統以維持水溫，3. 自動添加系統 (automated dosing system) 以保持適當的pH值和導電度。並非所有的系統都能夠包含所有的組件，或是有些組件可以同時滿足多種功能。再循環水系統可設計成使用處理過的單一水源作為供應多個單獨的水缸，例如飼養斑馬魚 (*Danio rerio*)、非洲爪蟾 (*Xenopus laevis*) 及非洲有爪蛙 (*Xenopus tropicalis*) 的層架 (rack) 系統。

再循環水系統中，發展和維護生物過濾器以限制氨和亞硝酸鹽的累積是非常重要的。生物過濾器必須有足夠的大小 (即包含足夠數量的細菌)，能夠處理進入系統的生物負荷量 (bioload, 含氮廢物的含量)。該生物過濾器支持的微生物需要某些特定的水質參數。在水生環境改變時，如快速變化的鹽度、溫度、pH值，以及添加化學物質或抗菌劑 (anti-microbials)，都可能顯著地影響微生物生態系統、水的品質和動物福祉。如有損壞，可能需要數週的時間，才能恢復生物過濾器的功能。水質參數的變化 (如 pH值、氨和亞硝酸鹽) 可能會對動物健康與生物過濾器的效率產生負面影響，因此對水質狹窄範圍內的變化特別敏感的物

種，需要更頻繁的監測。

當有合適的水源可以支持，可以設置連續或定時流動系統 (continuous or timed flow-through systems) (例如，水產養殖設施)。這些系統會利用非常大量的水，因為水是不被重複使用的。水可以“按照原始樣式”使用或經過處理，例如清除沉積物，溶解過多氣體、氯或氯胺，並通過紫外線或臭氧消毒。靜態系統有各種不同的規模，從小水缸到大型的地面池塘。這些系統可利用機械設備，進行水的移動以及幫水打氣。

(四)、溫度、濕度和通風

在陸地動物章節討論的一般概念也適用於水生動物。變溫動物的研究大部分為水生或半水生動物 (魚、兩生類和爬蟲類動物)。變溫動物大部分仰賴環境溫度來維持生理功能，如代謝、生殖及覓食行為。溫度需求是依據物種自然史，並可因生命階段不同而不同。水溫可於源頭調控、或於生命支持系統內、或由大環境控制。一些半開放式系統取決於水源的溫度，因此封閉的水 (enclosure water) 溫度會隨水源溫度而改變 (例如，河流的水道 raceway)。

房間內水的容積能影響房間溫度、溫度穩定及相對濕度。同樣地，由冷卻/加熱系統產生的熱負荷 (thermal load) 可影響大環境溫度的穩定性。對於這些熱能及濕氣負載，空調系統需有對應的補償設計。大環境的相對濕度通常表示安全問題及人員舒適度，房間溼度對於水生生物並不重要，然而濕度過高可能導致水氣凝結在牆壁、天花板、水缸蓋，使得微生物增生，這會形成汙染原或是替金屬鏽蝕創造了良好環境。在乾燥的環境 (如在寒冷的天氣開暖氣的室內空間，或是在一些氣候/季節的戶外飼養空間)，蒸散速率增加，可能系統要增加大量的水，並監控鹽度/導電度的增加，汙染物或其他水質異常。半水生動物 (例如，有些兩生類和爬行類動物) 需要高的微環境濕度 (超過 50%-70% 的相對溼度)，這可能需要維持高的大環境濕度程度。

室內空氣交換率通常受熱能和濕氣負載的影響。魚類和一些水生兩棲類中，微環境空氣品質可能會影響水的品質 (亦即氣體交換)，但是適當的生命支持系統設計能降低其影響度。空氣微粒和化合物 (如揮發性有機化合物和氨) 可能溶於水缸的水並影響動物健康，會導致水生動物病原體 (如原生動物、細菌) 在水生動物設施內傳播，這種情形應盡可能減少。

(五)、照明

水生或半水生爬蟲動物往往對光照、光強度和波長的變化敏感。照明特性會依照動物品種的自然史和進行的研究有所不同。快速的光照強度變化會引起驚嚇反應，並可能導致魚類創傷。所以建議室內燈光強度改變，要採用逐漸變化方式。一些水生和半水生的物種可能需要全光譜照明或補充加熱燈，以滿足生理功能需求 (例如，需要提供水龜一個曝曬區 basking area)。

(六)、噪音和振動

一般在陸地部分的概念可適用於水生動物。水能夠隨時傳輸噪音和振動。水生動物，包括魚類，可能會對噪音和振動敏感。一些設施為了減少振動和噪音，會將生命支持系統的重大組成部分設置在動物房以外的空間 (例如，過濾器 filters，泵 pumps，生物過濾器)。物種的反應各不相同，雖然很多魚類物種可以適應噪音和振動，但它可能會導致亞臨床或症狀不顯著的 (subclinical) 效應。利用隔離墊放在水族館架的下方可減少地板的振動。

二、水產飼養環境 (Aquatic Housing)

(一)、微環境 (初級圍封)

初級圍封(水缸、水道、池塘、或圍欄的水(pen holding water)和動物)定義了動物的切身環境的限制。在研究單位設置的初級圍封，應該滿足下列條件：

- 一、允許動物有正常的生理和行為需求，包括排泄、維護和控制身體溫度，可以正常的運動和調整姿勢，並使生殖需求得到滿足。在一些變溫爬行動物和兩生類所需要表現的生理功能，如餵養和消化，可能需要微環境構成溫度梯度。
- 二、允許同種間的社會互動 (例如，在魚類的群體活動)。
- 三、提供一個平衡、穩定的環境，支持實驗動物的生理需求。
- 四、提供適當的水質和特徵，並允許監測、填充、加氣、和更換水。
- 五、 允許獲得充足的食物和清除食物渣滓。
- 六、 限制動物逃跑，或避免動物或其附肢被意外卡住。
- 七、避免銳利邊緣可能造成的傷害。
- 八、 在干擾最小情況下可觀察動物。
- 九、 建構時使用無毒材料，避免有毒物質或不溶解化學品進入水生環境。
- 十、 不要直接或間接造成電氣危害。

(二)、環境豐富化和社群飼養(Environmental Enrichment and Social Housing)

目前對於許多水生動物並沒有沒有建立很好的環境豐富化策略。貧瘠化與豐富化的環境之間，對動物福祉、一般研究、動物成長和發展的影響，仍是處於未知狀態或是定義不清。這情況也同樣適用於對比單獨飼養或社群飼養。當考慮這個層面時，應該思考環境豐富化是否引發動物的適當行為，並評估其安全性和實用性。

一般來說，同種魚群一起飼養。許多兩生類動物，尤其是無尾類 (anuran species) 可能會集體飼養。水生動物不發生陸生動物般的侵略行為，但適當的監測和干預可能還是必要的。有些品種需要適當的物質 (如礫石) 進行繁殖，或者需要各樣的材質以表達其基本行為和維持健康。環境豐富化對繁殖的改善已有成功的報導，但這方面還需要更進一步的研究。對於許多物種，環境上構成視覺障

礙以提供躲藏跟遮蔽的空間是恰當的，例如非洲爪蟾 (*Xenopus laevis*)。大多數的半水生爬行動物會花一些時間在陸地上（例如曝曬、餵養、消化、產卵），對這些物種應提供適當的陸地面積。

(三)、庇護、室外和自然環境養殖(Sheltered, Outdoor, and Naturalistic Housing)

水產養殖動物飼養的情況往往會模仿農業養殖，可養在室外或庇護水道、池塘，或族群密度較高的圍欄。在這些設置之中會發生自然捕食和死亡，可以利用標準的水產養殖技術，像是最終的生產總量 (final production biomass) 來測量動物的“數量”。

(四)、空間

空間需求跟飼養密度的建議不一，並與物種的年齡/大小、使用的生命支持系統和研究的類型等有關。例如在美國，典型的斑馬魚 (*Danio rerio*) 生物醫學研究裡，每公升水飼養 5 條成魚。這種飼養密度在繁殖期或較年輕的動物時會有所變化。本指南並不一一說明其他各品種的魚類飼養密度，並且有可能隨研究進展而變化。非洲爪蟾 *Xenopus laevis* 的成體可能是每隻蛙安置在 2 公升水中，但目前已在研究環境中使用各種各樣的飼養系統。機構、研究人員和 IACUC 成員們應該進行適當的需求評估，評價每一個物種的飼養方案和對設施進行視察，並持續審查、回顧在這些領域的研究。

三、水產管理 (Aquatic Management)

(一)、行為與社群管理 (Behavior and Social Management)

通常利用視覺評估來監測動物。為了避免損壞皮膚的保護黏液層，或是對免疫功能造成負面影響，捕捉水生和半水生動物應保持在最低要求。乳膠手套已與一些兩生動物的毒害有關。由訓練有素的人員使用適當的網子可以減少皮膚的損害，從而減輕動物緊迫。網子在不同的系統使用時，應經過適當的清洗和消毒，盡可能專門使用在健康狀況相似的動物。應該在設施或個人保護的層面確認保定技術的妥善性。保定技術的差異性很大，取決於動物品種、年齡/大小、飼養系統和具體的研究需要。

水生物種的運動與活動水準很少被描述，但可能從研究行為相同或類似的野生物種加以推斷。有些水生動物會持續地游泳並不休息，其他物種可能一整天都在休息，或在部分時段休息。應該要對於不同的動物和生命階段提供適當的水流速度及隱藏式或地面式的休息平台（例如，一些爬行動物和兩生動物）。

(二)、畜養 (Husbandry)

1. 食物

一般陸地動物飼養的相關原則也適用於水生動物。食物應存放於適當的類型與方式中以保存營養成分、減少污染、防止害蟲進入。食物傳遞方式應能夠確保

所有的動物都可以在一段足夠長的時間內獲得應有的食物，同時盡量減少動物爭食和養分流失。飼養方法和投食頻率差異很大，取決於品種、年齡/大小品種和生命支持系統的類型。對於許多水生或半水生的物種並不在水缸中提供隨時可任意取食的食物，在某些情況下可能不會每日給食。

商業化食品（如粒狀飼料 pellets、片狀飼料 flakes），可適用於某些物種，其儲存時間應根據生產商的建議，或按照普遍接受的做法。在水生系統，特別是魚類養殖或維持一些兩棲類和爬行動物物種時，需要利用到活的食物（例如，豐年蝦幼蟲，蟋蟀 crickets，麵包蟲或麵粉蟲 (mealworm beetle) 幼蟲）是常見的。活食來源需要妥善地維護和管理，以確保能夠穩定的供應健康且適宜的生物作為食物。應注意要提供完整的飲食以避免動物營養缺乏。

2.水(另外參見本章一之(二)水質一節)

水生動物需要獲得適當的水調節。全水生的動物透過鰓或皮膚從其棲息地得到或吸收水。一些半水生爬行動物和兩生動物，可能需要碗水浸泡和飲用，水質要適切（見陸生動物一節）。自來水中可能存在氯或氯胺 (Chlorine or chloramines)，對某些物種是具有毒性的。

3.基底物質 (Substrates)

基底物質可以提供水生動物豐富的環境，促進適當的行為，如挖洞、覓食或增強產卵。基底物質可能是一個生命支持系統中不可分割的重要組成部分，基底物質可以提供更多的表面積給反硝化細菌或稱脫氮細菌 (denitrifying bacteria) (例如：底砂過濾系統 systems with under-gravel filtration)。在系統中，基底物質必須定期虹吸以清除有機碎片（即 hydrocleaning）。應當評估整個系統設計和物種的需要，以確定基底物質的數量、類型和表現方式。

4.衛生

再循環水系統中，水生環境的衛生狀態是透過合理的設計和維護生命支持系統，定期清除水缸底部的固體廢棄物，定期換水。

衛生的基本概念在陸地和水生系統是相同的，例如提供有利條件使動物保持健康與福祉。然而有些衛生措施在水生系統會不同於陸地生態系統，因為大部分的含氮廢物（糞便和尿液）和呼吸系統輸出（二氧化碳）是溶解在水中。一個正常運轉的生命支持系統會設計如何去處理生物負荷 (bioload)，將含氮廢物保持在可接受的範圍內。移除固體的方式可能會根據該系統的設計而有不同的方法。一般都是虹吸清除 (hydrocleaning) 和過濾法。根據不同的類型，過濾器可能需要例行清洗或更換，或是具備自潔功能，或是須要適當的保養。鹽水系統中，溶解蛋白質可能會被化氮器 protein skimmers 清除。減少有機固體可以限制氮的數量，從系統中清除氮與磷是必須的，氮與磷兩者都可以積累到對魚類和兩生動物造成毒性。生物過濾器（反硝化細菌 denitrifying bacteria），一般負責去除水生系

統中的氮和亞硝酸鹽及潛在的毒素。這一過程中的終端產品硝酸鹽，對水生生物毒性較低，但在較高的濃度會對動物產生問題，一般是通過換水去除它，雖然大型系統可能有特化的去硝酸組件 denitrification unit 可降低硝酸鹽含量。

消毒一般是通過水處理來完成（例如，過濾和應用紫外線或臭氧）或透過換水來完成。氯和大多數化學消毒劑並不適合包含動物的水生系統，因為它們在低濃度即有毒性。當使用它們來消毒整個系統或系統組件，必須特別小心，以確保餘氯、化學和反應副產物已分解或清除。監測的類型和頻率取決於所利用的消毒方法、系統類型和飼養動物。

水生系統常見藻類的生長。藻類增加生長與氮、磷的存在有關，特別是有光的狀態。儘管藻類物種能產生毒素，出現於再循環水系統 (re-circulating systems) 的藻類一般不具毒性。藻類過度增長可能指示氮或磷的含量升高。藻類通常採用機械性方法去除，例如擦洗或刮除。限制藻類生長是重要的，以便可看見封閉環境內的動物。藍綠藻 cyanobacteria (俗稱藍綠色藻類 blue-green algae) 的生長也是可能的，常見於淡水養殖情況。同樣促進藻類生長的因素也能促進藍綠藻的生長，就像藻類，大多數物種是無害的，但有些物種可以產生臨床相關的毒性化合物。

規律進行消毒及更換水缸的方式往往不同於陸生系統。由於廢物溶解在水中，透過虹吸法或過濾法清除固體、定期換水，對典型的水生系統要維持足夠的衛生環境是不夠完整的。清潔跟消毒的頻率應由水質決定，水質應允許視覺上可以觀察到動物及進行動物健康監測。系統的零組件，如魚缸蓋，可能會累積飼料，可能需要每週一次的經常清潔，這取決於飼料利用的類型、頻率以及設計方式。

5. 大環境的清潔和消毒

跟陸生動物的環境一樣，所有水生動物設施的元件，包括動物飼養房間和支援空間 (如儲存區、籠具清洗設施、走廊和操作室 procedure rooms)，應定期清洗和消毒，適當的頻率取決於使用面積和可能的污染性質。應選擇清潔劑並小心使用，以確保水系統不存在二次污染的產品。

清潔器具的材質應該能夠抗腐蝕與承受定期消毒措施。它們應該被保存在固定的特定區域，未經消毒程序，不應被運往不同區之間，造成污染的風險。應定期更換磨損的物品，並以整潔、有組織的方式存放在乾燥環境，有利於減少污染或滋生害蟲。

6. 廢物處置

根據水量、水質和化學成分，一些設施可能需要廢水處理和廢棄物處置。地方性法規可能會限制或控制廢水的釋放。

7. 病蟲害防治

陸生動物的病蟲害控制原理可以應用到水生系統。然而，由於普遍使用經表

皮吸收的防蟲劑，應用在水生和半水生的動物上，可能會比應用在陸生動物上更加敏感。使用前應適當的檢討化學品成份和應用方法。

8. 應急應變、週末和例假日照顧

如同陸地物種，應提供合格的動物人員進行日常護理。人員應當對飼養系統有足夠的了解以識別故障狀況，如果他們不能處理嚴重故障，需要到下一個工作日才能做出決議，他們應該知道工作人員中有誰可以應對這一問題。自動化監測系統可能是有效的，這取決於系統的規模和複雜性。應該發展適當的緊急應變計劃，以解決重大的系統故障。

四、族群管理

(一)、識別

識別原則與陸地動物相似。識別準則要根據物種和飼養系統。在整個生活史中要單獨識別某些小型水生動物是有困難的，因此群體識別在某些情況下是較合適的。剪鰭條 (Fin clipping) 已經用於識別以及基因檢測。有多種的識別標籤可使用在魚類上，皮下注射彈性材料 (elastomeric materials) 或其他材質亦可使用。在足夠規模的動物群體中，可以利用個別轉發器標籤 (individual transponder tags)。外部特徵，如個體的彩色花樣，亦可用來識別某些物種。

(二)、水生動物記錄保管

水生系統管理需要保管足夠的紀錄。一般情況下，應用在陸生動物的標準同樣地也適用於水生和半水生動物，然而須要因物種或系統的不同而修改。雖然許多水生動物使用群體識別 (相對於個體)，但仍需維持詳細的動物紀錄。一般的動物資訊要經常能夠查詢得到，尤其是用於生醫研究的魚類，包含品種、遺傳訊息 (種魚鑑定、基因組成)、魚種來源、系統內魚隻的數目、水缸標示、生命支持系統資訊、育種、死亡、疾病、動物在設施內外的移動、以及受精/孵化資訊。水生動物的餵養紀錄也應保存 (如食物供應、動物接受情況)，並且確實追蹤未過期的食物補給，確保營養價值的維持。任何活體養殖的紀錄也應保持 (例如，孵化率和供應者的建議事項以及達成狀況)。

系統和水源的水質檢測紀錄，以及生命支持系統零件的維護活動，在水質的回溯及維持皆很重要。確切的水質參數測試以及檢測頻率必需清楚地制訂，這些會隨著生命支持系統的樣式、動物、及研究而更改，如同 "水質" 章節所描述。假使能夠維持準確的紀錄轉讓、繁殖以及死亡率，在水生系統詳細地追蹤動物隻數往往是可行的。某些情況下動物被安置在大型的族群中 (如某些爪蟾群集)，可由定期調查而得到確切的數目。大型水產養殖研究，相對於實際的動物隻數，估計系統的生物質 (biomass of the system) 可能會更加恰當。

参考文献

Alworth LC, Harvey SB. 2007. IACUC issues associated with amphibian research. *ILAR J* 48:278-289.

Guide for the care and Use of Laboratory Animals. (2010). National Research Council, National Academic Press, USA.(prepublication draft)

Matthews M, Trevarrow B, Matthews J. 2002. A virtual tour of the guide for zebrafish users. *Lab Anim* 31:34-40.

NRC [National Research Council]. 1974. *Amphibians: Guidelines for the Breeding, Care and Management of Laboratory Animals*. Washington: Printing and Publishing Office, NAS.