

飼養魚窒息現象的研究*

陳寧生 施瓊芳

(中國科學院水生生物研究所魚類組)

一. 氧和二氧化碳與飼養魚的關係

氧氣是魚類生存上不可缺少的條件,水中如果沒有溶解的氧氣,魚類便不能生活。水中所含的溶解氧量,不僅在各個池塘和湖沼中多寡不一,就是在同一個池塘裏也隨着季節的不同而有增減。普通在冬季水面沒有結冰的情況下,水中所含的溶解氧量較多;而在夏季溶解的氧量便較少。根據太湖淡水生物研究室實驗魚池周年分析的結果:冬季池水中所含的溶解氧為每升 10.0—12.3 毫克;夏季池水中所含的溶解約為每升 3.6—6.6 毫克。又在夏季中,以每日黎明前為最低,這時候某些發生魚類浮頭現象的魚池,底層的溶解氧量可降到每升 0.3 毫克以下。這種隨季節、日夜和水層而改變的現象是受許多因素而決定的:一方面,水溫的升高和無風的天氣,水中溶解的氧量要減低;另一方面,水生生物的呼吸量和光合作用的變化,以及有機物質的分解等都大量地影響着溶解的氧量。

魚類所需要的氧量也隨溫度發生一定的季節變化,這項變化與池水中含氧量的情形正好相反——在冬季裏魚體很少活動,不需要很多氧氣;而夏季裏魚體很活躍,需要的氧量就大得多。我們在 1951 年夏和 1952 年冬曾做過草魚、白鯪、花鯪三種飼養魚在夏季和冬季耗氧量的比較,夏季裏牠們的耗氧率約為冬季 5—10 倍,這樣夏季魚池中的溶解氧量和飼養魚的耗氧量之間就容易發生矛盾,有時會使飼養魚感到氧氣的缺乏,發生“浮頭”或甚至“噎死”的現象。

此外,池水中氧量的降低往往伴隨着二氧化碳的增高。氧氣的缺乏對於飼養魚固然不利,二氧化碳的過度增高對於飼養魚也是有害的。它可能從兩方面發生毒害:一方面,過多的二氧化碳使魚難以從水中吸取氧氣,結果將引起窒息;另一方面,由二氧化碳所形成的游離碳酸使水中的酸度增加,在酸性很強的環境中魚類也

是無法生存的。

所以，無論是氧氣過少，或者二氧化碳過多，都會影響到魚的呼吸。當魚類感覺到呼吸困難的時候，最明顯的徵候就是發生“浮頭”的動作——大部分的魚，甚至於全體的魚都升到水上層，將口伸出水面吞取空氣。這種情形在夏季中，各地魚池都可以見到，如果情況嚴重便會窒息而死。爲了知道當氧或二氧化碳的溶解量變化到何種程度時才會使魚發生窒息（即魚農所說的“噎死”現象），我們在1951年和1952年進行三批試驗，分述於後。

二. 引起飼養魚窒息時的二氧化碳量

天然池水中的氧量降低和二氧化碳的增高既可以同時存在，於是，單看魚類的反應，就無法辨別究竟是受那一種因素引起的。要解決這一問題，首先應該設法，使其中的一種氣體保持着對魚類沒有傷害的濃度，然後變動另一種氣體的濃度，看它所造成的結果。我們試驗的第一步，就是使水中保持着豐富的氧，同時增加二氧化碳的濃度。試驗方法很簡單，先選擇幾條身體健康的魚，放入水族箱內，再把壓縮在鋼筒內的二氧化碳慢慢地通入水中，同時還用空氣唧筒不斷地將空氣也通入水中。通入二氧化碳的速度很慢，避免驟然的增加，使結果不準確。每次試驗中，由開始到魚表現出呼吸困難，約經過半小時或半小時以上。所用的材料包括全長爲3.3—4.1厘米的花鰱和白鰱，以及全長爲13.5—17.5厘米的青魚。等到魚因爲二氧化碳過多而失去平衡或甚至昏倒不起時，便停止氣體的輸入，迅速分析水中氣體成分*。試驗的結果列在表1和表2。

表1 白鰱和花鰱對二氧化碳的反應（水溫32°C）

| | 魚的徵候 | CO ₂ 毫克/升 | O ₂ 毫克/升 | pH | 備註 |
|--------|------------|-------------------------|------------------------|-----|----------------------|
| (1) 6尾 | 失去平衡 | 134.4 | 6.07 | 6.0 | |
| (2) 4尾 | 1尾死亡3尾失去平衡 | 286.7 | 5.31 | 5.7 | 3小時後, 3尾復活 |
| (3) 6尾 | 游於上層, 不適 | 82.8 | 6.51 | 6.3 | |
| | 恢復正常 | 22.4 | 6.47 | 6.9 | 停止送CO ₂ 後 |
| | 不適 | 173.6 | 5.35 | 6.0 | 送CO ₂ 後 |
| | 恢復正常 | 30.2 | 6.56 | 6.7 | 停止送CO ₂ |
| | 橫臥喘息 | 280.0 | 4.34 | 5.6 | |

* 測定氧時，我們採用的是溫克勒氏法。測定二氧化碳時我們用酚酞爲指示劑，用1% N的碳酸鈉滴定。

表 2 青魚對二氧化碳的反應 (水溫 21°C)

| | 徵 候 | CO ₂ 毫克/升 | O ₂ 毫克/升 | 備 註 |
|---------|----------|-------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| (1) 6 尾 | 仰浮, 類似死亡 | 315 | 5.54 | 5 小時後死 4 尾, 2 尾移入清水後救活 |
| (2) 6 尾 | 歪斜, 掙扎仰浮 | 263 | 6.07 | 移入清水, 全部救活 |
| (3) 6 尾 | 一 尾 仰 浮 | 114 | 6.54 | 停送 CO ₂ 後, 6 尾動作呆滯, 後漸恢復 |

由上面試驗的結果, 已可以看出一個大概的情況: 當水中的二氧化碳量在每升 30 毫克時, 飼養魚還不致受到影響; 超過每升 80 毫克時, 魚類便有不舒適的表現——呼吸困難, 漂浮在水的上層, 可以說這是快到危險的時期; 若超過每升 100 毫克的濃度, 魚類便失去平衡的能力, 不能保持正常的姿勢, 甚至於仰浮不動; 再超過每升 200 毫克時, 就可以引起死亡了。根據太湖淡水生物研究室測定 50 口魚池的記錄 (其中還包括 4 口發生魚病的池塘在內), 魚池中的二氧化碳極少超過每升 20 毫克的。因此, 魚池中的窒息現象, 不是單純由二氧化碳所引起的。

三. 引起飼養魚窒息時的氧量

二氧化碳對於飼養魚的為害濃度明瞭後, 接上去要知道的就是在沒有人為地增加二氧化碳的情形下, 飼養魚發生窒息時, 水中氧和二氧化碳的含量。這裏, 我們先用封閉的方式進行試驗。取小型的水族箱, 滿注池水, 把試驗用的魚 (每次一條) 放入後, 就蓋上玻璃板, 使水族箱內的水完全不和外界的空氣相接觸, 箱內也沒有氣泡存在。這樣, 經過數小時後, 魚開始有不舒適的表現, 鰓蓋的呼吸運動加速, 此後就發生掙扎性的衝撞動作, 再過一會, 魚便昏迷不起, 最後歸於死亡。當魚進入昏迷或死亡的階段, 我們便進行氧和二氧化碳的測定, 當時的水溫和 pH 等也附帶記錄下來, 測定的結果如表 3。

表 3 魚類窒息時水質分析的結果

| 試驗材料 | 全長(厘米) | 水溫 °C | 酸度 pH | 氧 量 毫克/升 | 二氧化碳量 毫克/升 | 徵 候 |
|------|--------|-------|-------|-------------|---------------|---------|
| 鯽 魚 | 17.7 | 24.5 | 6.6 | 0.59 | 23.9 | 昏 迷 不 起 |
| 白 鱧 | 11.7 | 25 | 7.2 | 0.79 | 11.8 | 死 亡 |
| 花 鱧 | 14.5 | 25.8 | 7.2 | 0.23 | 12.8 | 昏 迷 不 起 |
| 草 魚 | 15.5 | 24 | 7.1 | 0.99 | 10.4 | 昏 迷 不 起 |
| 草 魚 | 12.6 | 25 | 7.0 | 0.39 | 12.8 | 死 亡 |
| 青 魚 | 14.5 | 23.5 | 7.1 | 0.58 | 14.2 | 死 亡 |

此外，我們也曾用大批的魚在不封閉的情況下，做過一次試驗，在上午 10:35 時，將 562 條大小不等的草魚、白鯉和花鯉（總重量為 12,843 克）放入一隻長 93 厘米、闊和高都是 50 厘米、並容有 125 升水的大水族箱內，箱上並不加蓋，水面與空氣保持接觸。試驗開始時的水溫為 16.5°C，pH 為 7.7，每升水中含 7.3 毫克的氧和 2.5 毫克的二氧化碳，經過一小時之後（11:50）開始有魚昏迷，測定結果，水中的氧已降低至每升 0.36 毫克，而二氧化碳則增至每升 14.9 毫克，此後，魚一直處在昏迷或掙扎的狀態中。到下午 2:15 時，幾乎全部的魚都已死亡。分析結果，每升水中的氧量為 0.25 毫克，二氧化碳為 21.2 毫克，pH 為 6.7，當時的水溫為 16.8°C。

從這兩組試驗的結果，可以看出發生窒息時水中二氧化碳的含量是在 10.4 毫克/升到 23.9 毫克/升之間。根據第二節中所述，這樣的濃度，就二氧化碳本身的作用來說，還完全在飼養魚的安全範圍以內。而這時窒息現象的發生，顯然是由於水中氧的低落。從這兩組試驗的結果也可看出：引起窒息時氧量，是從 0.25 毫克/升到 0.99 毫克/升不等；即使是長度相仿的同一種魚，達到窒息點的氧量也有相當大的出入（像表 3 中草魚的記錄），但整個來看，都是在每升 1 毫克以下。這樣，我們就可以知道當水中二氧化碳在 30 毫克/升以內，氧量如降低至每升 1 毫克以下，魚便可能發生窒息。

四. 高濃度的二氧化碳和低濃度的氧的聯合作用

單獨的二氧化碳或氧與窒息現象的關係已經明瞭，最後還有一個問題需要解決——就是在二氧化碳濃度較高，但還不至於引起呼吸困難的情況下，氧氣降低到如何程度才會發生窒息？這裏我們仍採用封閉的方式進行試驗。先準備 5 隻 1,000 立方厘米的廣口瓶，盛滿天然池水，瓶中各通入不同分量的二氧化碳。在通入的時候，因為沒有適當的衡量儀器，所以只是從通入的時間來估計，有的瓶中通入的時間長些，有的瓶中通入的時間稍較短些，然後，在每瓶中放入 2 尾花鯉的幼魚，全長是 4.7—6.6 厘米，將瓶塞蓋緊，使瓶內的水不與外界空氣接觸，瓶內也沒有氣泡，經過不同的時間以後，各瓶中的魚陸續表現出呼吸困難，最後死亡。魚死亡後，分析水中所含氧和二氧化碳的量。由於魚放入時各瓶中的二氧化碳量就不相等，其結果也不完全一樣。6 瓶中有 4 瓶二氧化碳的含量過高（超過 80 毫克/升）或過低（30 毫克/升以下），其餘 2 瓶的二氧化碳濃度，是符合我們所要求的範圍內，即 30 毫克/升與 80 毫克/升之間的。當魚發生窒息時，水溫都是 32°C，水中溶解氧量都是 0.28

毫克/升，至於二氧化碳的量，一瓶是 49.49 毫克/升，另一瓶是 61.22 毫克/升。這裏可以看出，雖然這兩隻瓶中的二氧化碳量有顯著的差異，但最後魚死亡時的氧量，都是 0.28 毫克/升。再與表 3 中花鰱的記錄比較，也可看出當每升水中僅含 12.8 毫克二氧化碳時，花鰱消耗氧氣到每升水中含 0.23 毫克時才昏迷，而當水中二氧化碳已增高至 61.22 毫克/升時，花鰱也仍繼續呼吸至水中只含 0.28 毫克/升氧時才死亡。所以就發生窒息時的氧量而論，相差極少，換句話說，不問二氧化碳的濃度相當低，或增高至每升 60 毫克左右，花鰱利用氧的情況，却沒有顯著的差別。

五. 總 結

1. 如果水中氧氣保持充足，而二氧化碳達到每升 80 毫克的濃度時，飼養魚有呼吸困難的表現；超過每升 100 毫克時，便可能發生昏迷或仰臥的現象；超過每升 200 毫克就要引起死亡。

2. 如果二氧化碳不超過每升 30 毫克，則飼養魚可以繼續呼吸，直到氧氣已低於每升 1 毫克的濃度時才有昏迷或死亡的現象。當然，如果氧氣只略多於每升 1 毫克的濃度，也還是有危險的。

3. 根據這些結果，我們可以決定池魚的死亡是否由於缺氧所引起的。

ASPHYXIATION POINT DETERMINATION OF SOME FARMFISHES

CHEN NING-SHEN (陳寧生) AND SHIH CHUEN-FANG (施臻芳)

(ABSTRACT)

Asphyxiation points were determined under various experimental conditions for the fingerlings of four of our farmfishes, *Hypophthalmichthys molitrix*, *Aristichthys nobilis*, *Mylopharyngodon piceus* and *Ctenopharyngodon idellus*, commonly reared in mixed population in our fishponds. It was found that at a temperature of 23-24°C these fingerlings manifest phenomena of suffocation when the dissolved oxygen content drops to the range as low as 0.23-0.99 mg per liter. Rising content of dissolved free carbon dioxide causes no appreciable effect on oxygen utilization, even at 32°C, provided that its concentration is kept within 30 mg/l, and for *Aristichthys nobilis* at least, within 60 mg/l; but ill effect is distinctly shown when it rises above 80 mg/l, even though the dissolved oxygen content in the meantime remains fairly high (4.34-6.56 mg/l).