



長效水質溶氧感測器

Long-efficient Dissolved Oxygen Sensing Module

周明杰 M. J. Chou¹、林宏聲 H. S. Lin²、柯呈達 C. D. Ko²、
陳志仁 C. J. Chen³、莊俊德 C. T. Chuang⁴、林志遠 C. Y. Lin⁵

工研院(ITRI) 智慧感測與系統科技中心 ¹資深工程師、²工程師、³正工程師/副組長、⁴副經理
農業部(MOA) 水產試驗所 技術服務組 ⁵研究員

摘要/Abstract

本文介紹以異質整合封裝光學晶片與抗菌鍍膜材料技術的結合，開發長效型水質溶氧感測器。溶氧為水產養殖業最關鍵的參數，除了與魚體生長相關，若無法正確監測更會危及整池魚貨生存，但目前除了完全依賴進口昂貴國外感測器，更有長效性不足的問題。實測目前養殖業使用的國外光學式溶氧感測器，依養殖場域水質差異，最快2天內即會因生物膜覆蓋感測頭，而讓感測值偏離20%以上失效，無法符合養殖需求。本文介紹工研院開發，具有長效準確、平價廣布等特點之光學式溶氧感測器，可降低人力維運成本，並達成與週邊設備（水車、投餵）智慧聯控，實現節能化、智慧化效益。目前實測長效性已可達7天，後續以14天以上，甚至1個月長效性為目標進行開發。

This article introduces the development of a long-efficient water quality dissolved oxygen sensor by combining heterogeneous integrated packaging optical chip and antibacterial coating material technology. Dissolved oxygen is the most critical parameter in the aquaculture industry. In addition to being related to fish growth, if it cannot be monitored correctly, it will endanger the survival of the entire fish stock. However, currently, in addition to relying entirely on imported expensive foreign dissolved oxygen sensors, there is also a lack of long-efficient effectiveness problem. It has been measured that the French optical dissolved oxygen sensors currently used in the breeding industry will fail due to biofilm covering the sensing head within 2 days at the fastest, causing the sensing value to deviate by more than 20%, depending on the water quality of the breeding grounds, and cannot meet the requirements of breeding need. This article introduces the optical dissolved oxygen sensor developed by ITRI, which has the characteristics of long-efficient, accurate and affordable, which can reduce labor maintenance costs and achieve intelligent joint control with peripheral equipment (water tankers, feeding) to achieve energy saving and intelligent benefits.

關鍵字/Keywords

溶氧感測器(Dissolved Oxygen Sensing Module)、長效(Long-efficient)、抗菌(Antibacterial)、生物膜(Biofilm)

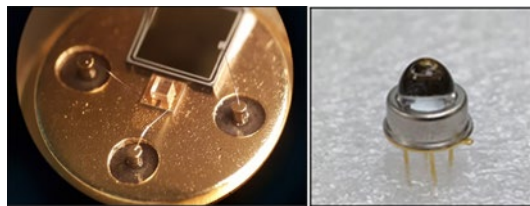
前言

溶氧值為養殖漁業最關鍵的水質參數，但目前溶氧感測器 (Dissolved Oxygen Sensing Module, 簡稱DO) 完全依賴進口產品，且最大問題為感測器最快僅2天就會失效 (準確度偏差>20%)，7天就可能完全故障 (溶氧值為0 mg/L)。然而水質設備廠商一般的維護週期為4週，導致大多數時間之溶氧數據並不準確，或更頻繁的維護導致高昂支出，使得本就昂貴的感測器建置價格更高，大多數漁民無法導入使用。工研院開發可長效準確、平價廣布之光學式溶氧感測器，準確度符合國際產品水準，並大幅增加了數倍的長效時間 (至少14天以上)，不僅可立即降低人力維運成本，當溶氧值正確時，可進一步達成與週邊設備 (水車、投餵) 的智慧聯控，實現節能化、智慧化效益。目前長效溶氧感測器已導入多個養殖場域，包含四草/竹北石斑魚、北門鱸魚、嘉義黃金鯧等戶外養殖場域，與屏東室內高度密集石斑養殖池，實地驗證確認感測器效果。

長效水質溶氧感測模組

1. 異質整合封裝光學晶片

目前市售溶氧感測器主要分為光學式與薄膜式兩種。薄膜式具有價格較低、反應速度快等優點，但也有維護工序複雜、耗氧產生量測誤差等問題，導致實際應用困擾；光學式則是近年來養殖業使用的主流技術。一般光學式溶氧感測器具有兩



▲圖一 專利化異質整合封裝光學晶片

顆不同波長的光源，一顆為感測光源(450 nm)、一顆為參考光源(650 nm)，兩顆光源發出之光束會先入射至溶氧膜，再散射至感光元件。溶氧感測原理為感測光束入射至溶氧膜的螢光層時，會與水中氧分子產生螢光淬滅(Quenching)現象，而將感測光源波長(450 nm)激發為新的螢光波長(650 nm)，透過偵測感光元件所收到的光強度或相位訊號，並比對參考光波段，再以感測系統進行精細的訊號處理，搭配計算溫度、壓力、鹽度等環境影響參數後，最後分析出水中溶氧濃度。傳統光學式感測器內部的光學元件，每一個均為獨立封裝，導致體積大、感測訊號易隨環境溫度、使用壽命等影響而產生測量誤差。工研院感測中心採用異質整合封裝技術，將多個不同波段之LED與感測PD、校正PD等晶粒，透過特殊的抗劣化共晶封裝技術，再搭配精微組裝技術，將窄頻濾光片、雜訊抑制機構、高效光學鏡頭等被動元件，全數整合至一TOCAN封裝平台上，實現光學溶氧感測器微型化 (圖一)；其中創新內建專利化光強度自補償PD設計，透過感測LED晶粒側面餘光，搭配迴授控制電路，實現感測光強度不會隨環境溫度與使用光衰等問題影響，確保感測器具備高感測準確度、



高耐候性等特點。

2. 複合式長效抗菌技術

造成溶氧感測器失效的主因是水中生物覆蓋溶氧感測探頭，導致氧分子通過障礙而無法感測。故若要實現長效型溶氧感測器，則必須瞭解生物膜(Biofilm)成因，才能制定對策。而養殖水中生物膜形成來源，依主要成因可分為細菌(如大腸桿菌、葡萄球菌等)、浮游生物(如藤壺、管蟲)、微藻類等微生物。生物膜形成群落的過程則可分為5期，其中最重要需抑制的是第1期之初始附著期與第2期之不可逆附著期，才能避免生物膜產生群聚效應。

目前溶氧感測器廠商對於抑制生物膜危害之主流技術，主要有兩種：①機械刷：透過依附在溶氧感測探頭旁之刷子，定時刷洗來去除生物膜，包含法國Aqualabo、美國Walchem、YSI等廠商使用；但機械刷容易刷壞脆弱的溶氧感測膜，導致感測器之壽命減少、失效故障。②氣泡衝擊：以幫浦在水中產生之氣泡衝擊溶氧感測探頭，以抑制滋生之生物膜，包含美國Hack、瑞士ABB等廠商使用；氣泡雖然不會傷害溶氧膜，但其清潔效果亦差。

長效溶氧感測器(圖二)依據養殖水生物膜之成因制定抑制對策，採用專利化之光機與材料，以複合式抑菌技術實現。首先依文獻選定可抗大腸桿菌、葡萄球菌之抗菌鍍膜材料，再透過抗菌鍍膜材料的製程優化，確認可達成抗生物膜效果。其中選擇可產生荷葉效應之PDMS作為基材，來避免水中生物膜的初期附著，再透過特

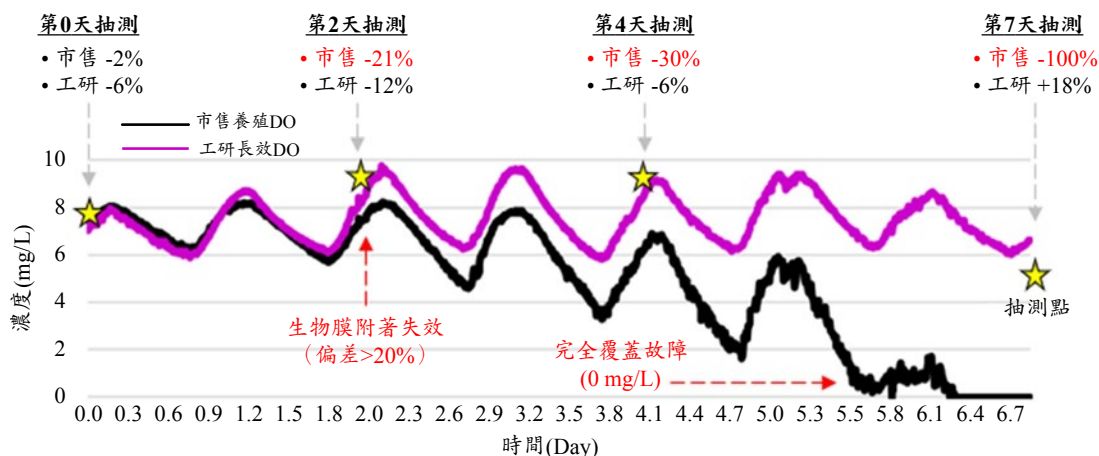


▲圖二 長效光學溶氧感測器

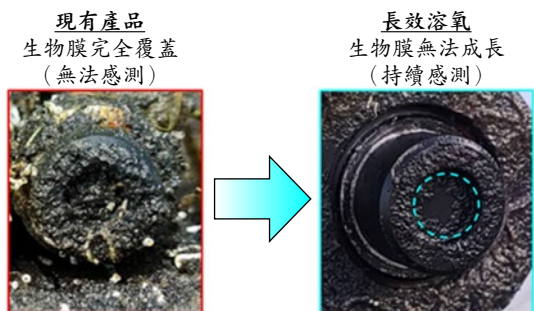
殊的抗菌添加物製程，達成抑制細菌的繁衍，最終實現長效感測效果。

感測器規格與養殖場域驗證結果

長效光學溶氧感測器主要透過兩個步驟來驗證性能準確與長效成果：①實驗室規格驗證：溶氧感測器主要規格為感測範圍0~20 mg/L與準確度 ± 0.5 mg/L，透過委託SGS第三方檢測單位，在實驗室中配置0~20 mg/L濃度之水體，同時比對長效溶氧感測器與SGS標準儀器之讀值，確認濃度範圍與準確度均達成。②養殖場域長效驗證：將「工研長效溶氧感測器」與目前養殖業水質感測設備廠商主流使用之市售法國製感測器，同時投入台南四草石斑魚養殖池內，經過7天以上測試，並透過德國WTW手持式光學溶氧感測儀器，以週期性點測方式作為現場溶氧標準依據，長效性之定義為讀值與手持式點測結果，若偏離誤差超過20%，即為失效，而此時之實驗天數則為長效性天數。長效比對實驗結果如圖三所示，可發現市售溶氧感測器於第2天即偏差超過20%，第5天溶氧值更降為0 mg/L，已為無法感測溶氧之故障狀態。而工研長效溶氧感測器至第7天仍維持於20%誤差範圍內，確認長效性超過7天，優於市售感測器。此外，若實際觀察溶氧膜表面的生物膜滋生情形(圖四)，可發現市售感測



▲圖三 養殖場域長效性比對



▲圖四 生物膜抑制結果

器已被生物膜充分覆蓋，而工研長效感測器的溶氧膜仍可保持乾淨，生物膜無法孳生，可持續正確感測，確認長效溶氧感測器能夠同時兼顧準確性與長效性。

結 論

台灣養殖業從業人員之年齡層高，經濟收益亦不穩，過往漁民均需累積數十年的經驗才能透過水色變異、魚群表徵等來判斷水質狀況，但就算全年無休也無法全天候照顧水池，當水質變異或異常事件產生

時，往往導致大量的漁貨死亡或產量品質降低的困境。近年來政府提倡智慧養殖，透過多重感測器監控溶氧、酸鹼、氧化還原電位、鹽度、溫度等，但其中最容易失效且為最關鍵指標的溶氧感測器卻仍無法有效且正確的運用。工研長效溶氧感測器提供正確地溶氧監控值後，產生兩大效益，包含：①水質監控：長期準確監控溶氧值、避免溶氧異常導致魚貨損失風險。②智慧節能：以精準溶氧感測回饋控制水車，兼顧高收成、精準節能。

後續將繼續優化複合式抗生物膜技術，將目前養殖業使用之國外溶氧感測器的長效時間，由2天延長至14天以上，且溶氧數據精準可信。此外，透過感測器國產自主研發設計、製造，具備易整合優勢及快速技術支援服務，更可具有平價廣布潛力。❏

誌 謝

感謝農業部水產試驗所建置測試場域。