

河海交換：淡水河輸出之溶解氮與北墨西哥灣的二氧化碳海氣交換

黃蔚人

國立中山大學 海洋科學研究所

摘要

由於陸地使用的改變，人為污染不但影響河川，也透過河川輸出影響近岸的生物地球化學。然而即使經過多年的努力，如何在生物地球化學上定量地描述河川如何影響近岸海洋仍有相當的努力空間。在劉康克老師以及高樹基老師的指導下，在淡水河中上游河水中採集並分析了氮物種，經過了一年多的實驗得到了一個結論：河川排放的總溶解氮通量和淡水河流域中人口密度與有高度相關。而河川輸出的氮通量到海洋中究竟會有什麼影響？前人研究已經可以推論出河川輸出的氮能增強近岸沖淡水中的基礎生產力，並隨後引起強烈的二氧化碳吸收能力，但河流氮通量與陸棚二氧化碳吸收能力究竟有何關係？因緣際會下，我在出國留學中得到了初步解答。透過研究受密西西比河控制的北墨西哥灣中的二氧化碳系統，最終可以得到密西西比河排出的氮通量與該河川控制的大陸棚吸收二氧化碳的能力有正相關。然而，上述兩個不同研究地區顯然在流量、滯留期等有相當大的不同，因此如何建立一個世界性的通則，還需要更多的研究。

溫馨感言

劉康克教授不僅是我的老師，他在我人生轉折處的身影更令我感恩與懷念。感謝老師在我念碩士兩年中幫我在海洋化學的碳化學上打下紮實基礎。退伍後，正在人生路口徬徨時，老師適時提供了我一個跟學術界仍有關係的兼職助理，這不但讓我還能保有出國留學的梦想，還從老師身上學到更多知識、經驗與技能，最後這一切都成了出國留學最大的後盾。此外，老師的身教讓我瞭解如何平衡在學術上的嚴謹與生活上的輕鬆，例如在去年 Ocean Sciences Meeting，老師在會場中給我寶貴的建議，在會後帶我去海邊游泳，卻沒想到這是最後一次見面。老師不但在學問上啟發了我，在教學上的精神跟態度，依然時常在我腦中浮現，特別對一個初任老師不久的我來說，時常在想若是老師他會怎麼做。感謝老師傳授的精神，將會秉持著劉老師的精神繼續走下去。

前言

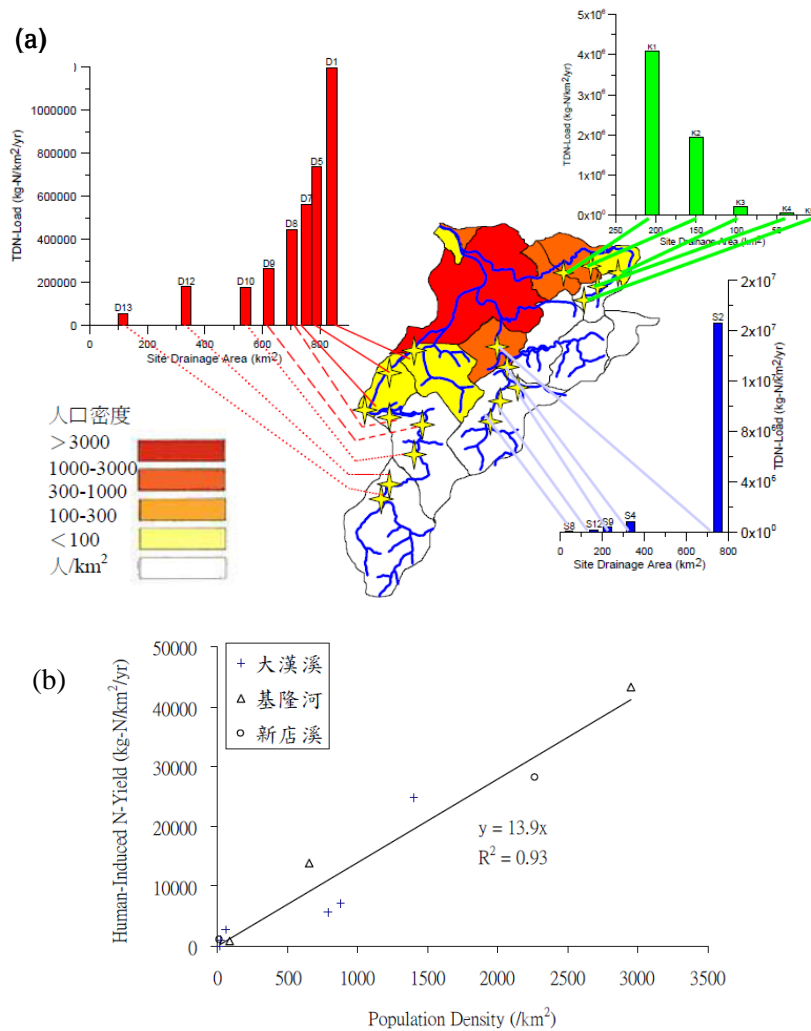
河流與海洋之間的交換過程是全球生物地球化學循環中重要的一環。受到環境變遷以及陸地使用改變的影響，河流中的無機氮的濃度在工業革命後就持續上升(Galloway and Cowling, 2002)。而這些無機氮的來源主要來自農業施肥、家庭廢水、或是畜牧等來源。這些來源的組成在不同的流域中有不同的比例。台灣的人口密度在世界排行中名列前茅，尤其在台灣淡水河流域中特別密集。相較之下，北美洲第一大河密西西比河流域中主要為農業區，河水中硝酸鹽濃度在工業革命後持續上升。儘管近年密西西比河水中硝酸鹽濃度並未明顯地持續增加，但仍維持相當高的濃度。

二氧化碳是重要的溫室氣體，也是造成海洋酸化的主要因子。然而在河流、海灣與大陸棚中二氧化碳的海氣交換通量一直到最近才有更多的瞭解(Bauer et al., 2013)。這主要是因為河流與大陸棚之間的交換機制受到多重因子影響，包括物理作用、生物作用以及海氣交換。尤其是河流受到人為污染，排放了過多的無機氮隨著沖淡水進入大陸棚。在密西西比河流域主控的北墨西哥灣中，河流輸出的會造成增強的基礎生產力以及表水優氧化(Lohrenz et al., 2008)。水中的無機碳因此被生物吸收並引起未飽和的二氧化碳分壓，使該區域成為大氣二氧化碳的匯。同時，表水優氧化也引起夏季時底水的貧氧現象(Bianchi et al., 2010; Rabalais et al., 2002)。因此，密西西比河中的溶解氮通量可以作為預測北墨西哥灣中貧氧區面積的重要指標(Feng et al., 2012)。河川同時也帶來大量的沈積物，這些有機物質也將在沖淡水中分解並釋出二氧化碳。綜上，由於河口至海灣間複雜的生物地球化學作用以及物理作用(Rabalais et al., 2010)，即使我們知道了河流帶來的氮能增強大陸棚表水基礎生產力，但河川帶來的氮通量對於大陸棚的海氣二氧化碳交換通量的影響為何仍不清楚。

本文將分兩部分來瞭解河海交換在生地化循環上的重要性，第一部份將以受劉老師指導的碩士論文開始，從台灣出發，瞭解淡水河中溶解氮空間變化，以及溶解氮的主要來源。河流中溶解氮的宿命為第二部分，研究區域為北墨西哥灣（擷取自受蔡衛君教授指導之博士論文），企圖在此區域瞭解河水的輸出對大陸棚上二氧化碳分壓之影響。

1. 控制河流溶解氮的因子：以淡水河為例

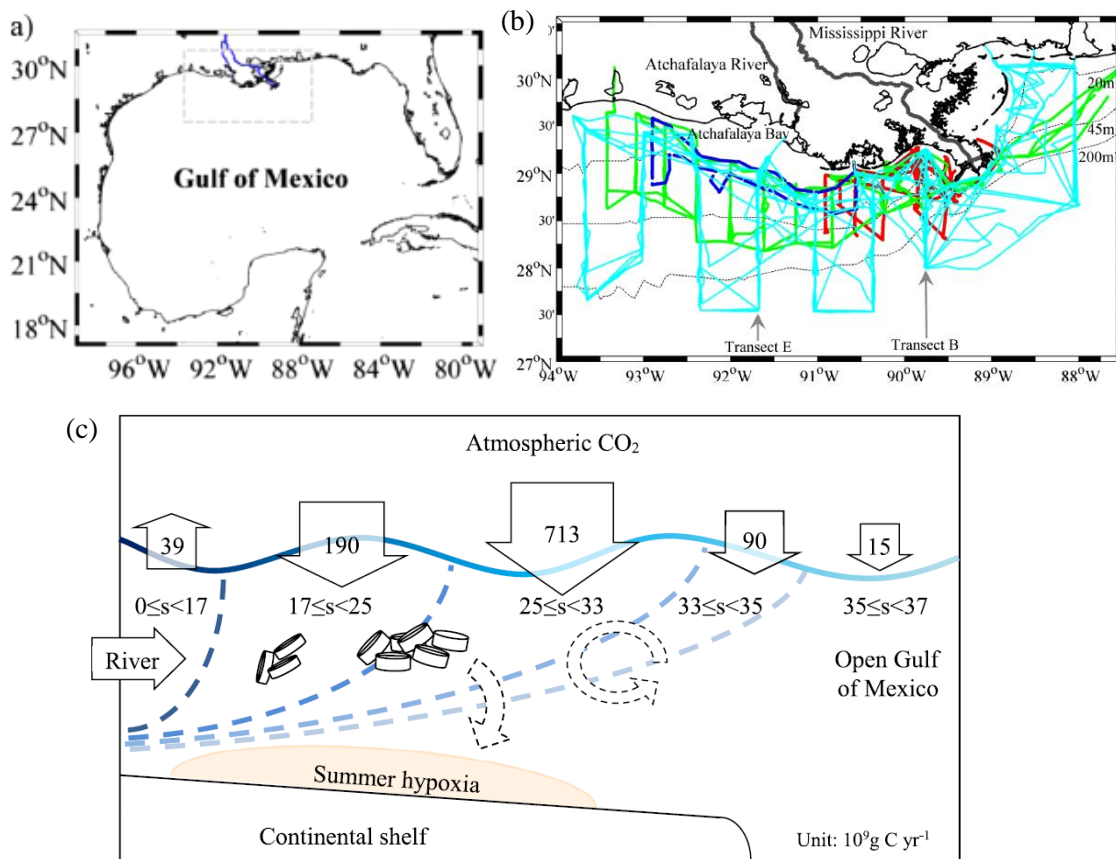
在劉康克老師以及高樹基老師的指導下，我們系統性的在淡水河中上游流域採樣（圖一 a），在一年多的採樣時間中，採集範圍涵蓋了三大支流以及包含受到人為污染以及接近自然狀態的背景值測站。我們一共分析了硝酸、亞硝酸、氨氮濃度以及溶解有機氮。這些總溶解氮濃度乘以河流流量以後得到總溶解氮的通量。研究發現，總溶解氮的通量從上游往下游增加（圖一 a），這些總溶解氮通量與人口密度有高度相關，並可依此估計每人每年排放的溶解氮通量（圖一 b）（黃、2003）。



圖一、淡水河中上游總溶解氮之空間分布與人口密度有高度相關。總溶解氮的通量由上游往下游增加，同時人口密度也從上游往下游增加(a)，總溶解氮通量與人口密度有高度正相關(b)。引自黃（2003）。

2. 大陸棚二氧化碳分壓受河流輸出之影響：以北墨西哥灣為例

為了了解大陸棚中二氧化碳分壓的時空變化，Huang et al. (2015)在北墨西哥灣(圖二 a)中調查了 13 個航次，並走航測量表水二氧化碳分壓(航跡如圖二 b)。經過系統性的分析以及計算，大陸棚上的二氧化碳海氣交換通量結果如圖二 c。在低鹽度時，由於河水帶來的高懸浮物質遮蔽陽光而使基礎生產力低落，同時有機物分解釋出二氧化碳，因此該區域為大氣二氧化碳的源。在中高鹽度(17 至 25, 25 至 33)區段中，懸浮物質多數已經沈降，在充足的光照下伴隨著從河流而來的高營養鹽，使浮游植物的基礎生產力大幅增加並且吸收二氧化碳，進而使該鹽度區域為二氧化碳的匯。爾後，隨著鹽度上升，營養鹽被消耗及混合，生物作用逐漸減弱，也同時減低二氧化碳吸收能力(圖二 c)(Huang et al., 2015)。



圖二、北墨西哥灣二氧化碳海氣交換通量示意圖，引自 Huang et al. (2015)。在北墨西哥灣中(a)，總共調查了 13 個航次，航次軌跡如圖(b)。結果顯示該海域在鹽度低於 17 時為二氧化碳的源，在鹽度 17 至 25 以及 25 至 33 為逐漸增強的匯，在鹽度 33 以上時，二氧化碳吸收能力則隨鹽度增加逐漸減弱(c)。

3. 小結

透過以上的兩個例子，我們可以了解河水中溶解氮的來源以及他們在大陸棚的宿命及影響。即使淡水河與密西西比河同樣輸出高濃度的溶解氮至鄰近海域，鄰近的大陸棚顯然有不同的反應。我假設主要的原因可能是流量的差異，在鄰近陸棚的滯留期、以及能否引起強烈的生物作用。然而此假設能否建立世界性的通則，還需要更多的研究。

參考文獻

- 黃蔚人，2003。淡水河系中上游河水中氮物種之時空變化。國立台灣大學海洋研究所碩士論文。
- Bauer, J.E., Cai, W.-J., Raymond, P.A., Bianchi, T.S., Hopkinson, C.S., Regnier, P.A.G., 2013. The changing carbon cycle of the coastal ocean. *Nature* 504, 61 - 70. doi:10.1038/nature12857
- Bianchi, T.S., DiMarco, S.F., Cowan Jr, J.H., Hetland, R.D., Chapman, P., Day, J.W., Allison, M.A., 2010. The science of hypoxia in the Northern Gulf of Mexico: A review. *Sci. Total Environ.* 408, 1471 - 1484.
- Feng, Y., DiMarco, S.F., Jackson, G.A., 2012. Relative role of wind forcing and riverine nutrient input on the extent of hypoxia in the northern Gulf of Mexico. *Geophys. Res. Lett.* 39, L09601. doi:10.1029/2012gl051192
- Galloway, J.N., Cowling, E.B., 2002. Reactive Nitrogen and The World: 200 Years of Change. *AMBIO A J. Hum. Environ.* 31, 64 - 71. doi:10.1579/0044-7447-31.2.64
- Huang, W.-J., Cai, W.-J., Wang, Y., Lohrenz, S.E., Murrell, M.C., 2015. The carbon dioxide system on the Mississippi River-dominated continental shelf in the northern Gulf of Mexico: 1. Distribution and air-sea CO₂ flux. *J. Geophys. Res. Ocean.* 120, 1429 - 1445. doi:10.1002/2014JC010498
- Lohrenz, S.E., Redalje, D.G., Cai, W.-J., Acker, J., Dagg, M., 2008. A retrospective analysis of nutrients and phytoplankton productivity in the Mississippi River plume. *Cont. Shelf Res.* 28, 1466 - 1475.
- Rabalais, N.N., Diaz, R.J., Levin, L.A., Turner, R.E., Gilbert, D., Zhang, J., 2010. Dynamics and distribution of natural and human-caused hypoxia. *Biogeosciences* 7, 585 - 619. doi:10.5194/bg-7-585-2010
- Rabalais, N.N., Turner, R.E., Wiseman, W.J., 2002. Gulf of Mexico hypoxia, A. K. A. "the dead zone." *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 33, 235 - 263.