

# TIẾP CẬN SINH THÁI TRONG QUẢN LÝ VÀ CẢI THIỆN NGUỒN NƯỚC TRONG ĐÔ THỊ MỘT CÁCH HIỆU QUẢ HƠN

TS. Phạm Ngọc và cộng sự

Cơ sở 2 - Trường Đại học Thủy lợi

**Tóm tắt:** Việc giữ lại và tích trữ các nguồn nước có thể sử dụng được là một mối quan tâm hàng đầu trong những đô thị thiếu thốn nước, ví dụ như: Singapore, Sydney (Úc), hay một số thành phố vùng Nam Trung Bộ nước ta. Để quản lý hiệu quả các nguồn tài nguyên nước và các hệ sinh thái, chúng ta cần phải khai thác nước tối đa, cải thiện chất lượng nước và mỹ quan. Để đạt được mục tiêu, chúng tôi đã: i) nhận diện các cách để nâng cao khả năng giảm đỉnh dòng chảy lũ và chậm dòng chảy mặt bằng cách sử dụng các mái nhà xanh (green roofs); ii) đã tìm ra những hấp thụ sinh học như vỏ sò (crabshell) và tảo đuôi ngựa (Sargassum), có giá thành rẻ và sẵn có ở địa phương; iii) đã nhận diện các loài thực vật trên cạn nhiệt đới có thể thích ứng với môi trường sống nước ngọt đô thị và xử lý được các chất hữu cơ và kim loại nặng trong nước; iv) đã nghiên cứu khả năng rủi ro ngập gây ra khi trồng cây vào dòng nước của chúng ta liên quan đến mật độ và mức độ ngập của cây bằng các thí nghiệm trong máng thủy lực; v) Sử dụng các công nghệ dựa trên nền tảng chip (chip-based technologies) để tìm hiểu sự đa dạng của vi sinh vật và các vai trò chức năng của chúng trong môi trường nước đô thị. Cách tiếp cận tổng hợp của chúng tôi, bao gồm quan điểm từ vĩ mô đến vi mô, sẽ đóng góp cho việc cải thiện quản lý nước trong đô thị.

## **Giới thiệu**

Do những áp lực không ngừng lên môi trường đô thị do kết quả tất yếu của sự phát triển công nghiệp và bùng nổ dân số, dẫn đến yêu cầu đổi mới để tận dụng nguồn tài nguyên nước sạch tự nhiên của chúng ta cho cả việc tiêu thụ và giải trí. Những Pháp chế mới, chẳng hạn như “Chỉ Thị Khuôn Khổ Về Nước ở Châu Âu” (the Water Framework Directive in Europe) và những kế hoạch chính sách như Chương trình Nước ABC của Singapore (ABC waters program in Singapore), đòi hỏi những tiếp cận tổng hợp để cải thiện chất lượng nước và hệ sinh thái chức năng trong tất cả loại nguồn nước bằng cách dùng các biện pháp hiệu quả và chi phí phù hợp. Như chúng ta biết rằng Singapore khai thác hầu hết nước mưa và tái sử dụng nó thành nước uống hoặc công nghiệp, vì vậy việc quản lý và cải thiện hệ thống thoát nước đô thị và hệ sinh thái thủy sinh trở thành một thách thức đòi hỏi công cụ tổng hợp mới để định rõ chiến lược quản lý đầy mạnh việc sử

dụng năng lượng thấp hơn và cung cấp các giải pháp bền vững. Việc triển khai những công nghệ mới để kiểm soát nước ngọt đô thị cho nhiều mục đích, tuy nhiên, cần một nền tảng vững chắc về kiến thức cơ bản trong những quá trình liên quan và sự tương tác của chúng. Cách tiếp cận của chúng tôi liên quan đến kiến thức sáng tạo thông qua mô phỏng và thu thập dữ liệu trong phòng thí nghiệm và thực địa, sau đó kết quả được tổng hợp để xác định những chiến lược quản lý nước đô thị đa ngành. Phần mô tả chi tiết các thí nghiệm và mô hình đã thực hiện có thể tham khảo trong các bài báo tương ứng trong phần các tài liệu tham khảo.

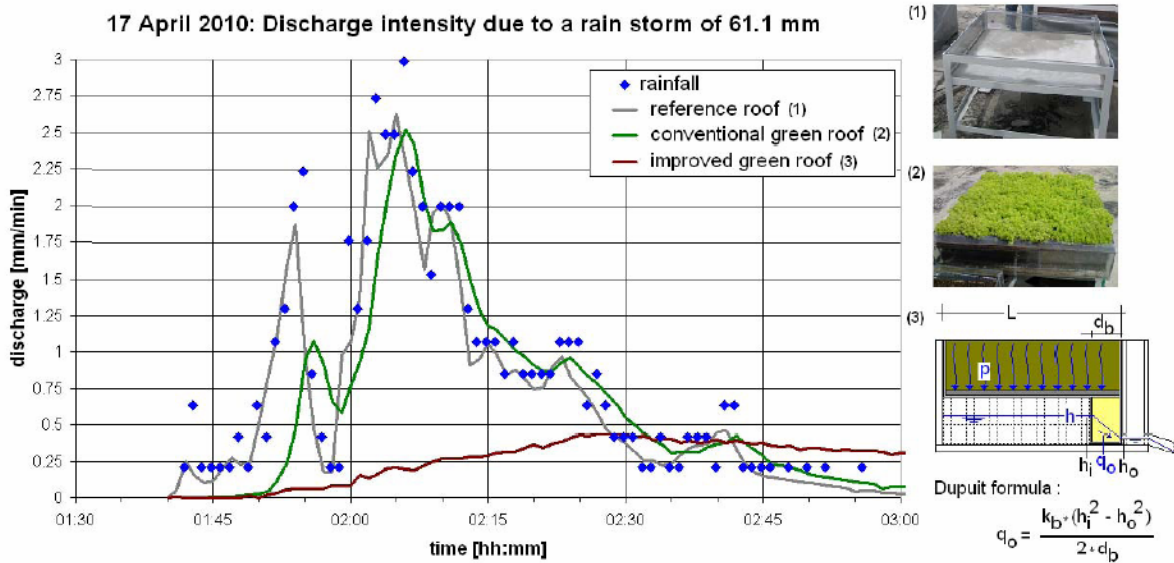
## **Kết quả và thảo luận**

### **Sử dụng mái nhà xanh**

Các thí nghiệm đã được thực hiện nhằm cải thiện dòng chảy cơ bản và giảm thiểu những đỉnh dòng chảy trong các đợt mưa. Các kết quả Mưa-dòng chảy từ ba thí nghiệm cho thấy rằng mái nhà xanh (conventional green roof) thông thường có thể đạt được sự giảm thiểu

lưu lượng dòng chảy tối đa và tăng lượng dòng chảy cơ bản. Mái nhà xanh cải tiến (improved green roof) rất hiệu quả trong việc giảm thiểu dòng chảy tối đa, và tăng cường

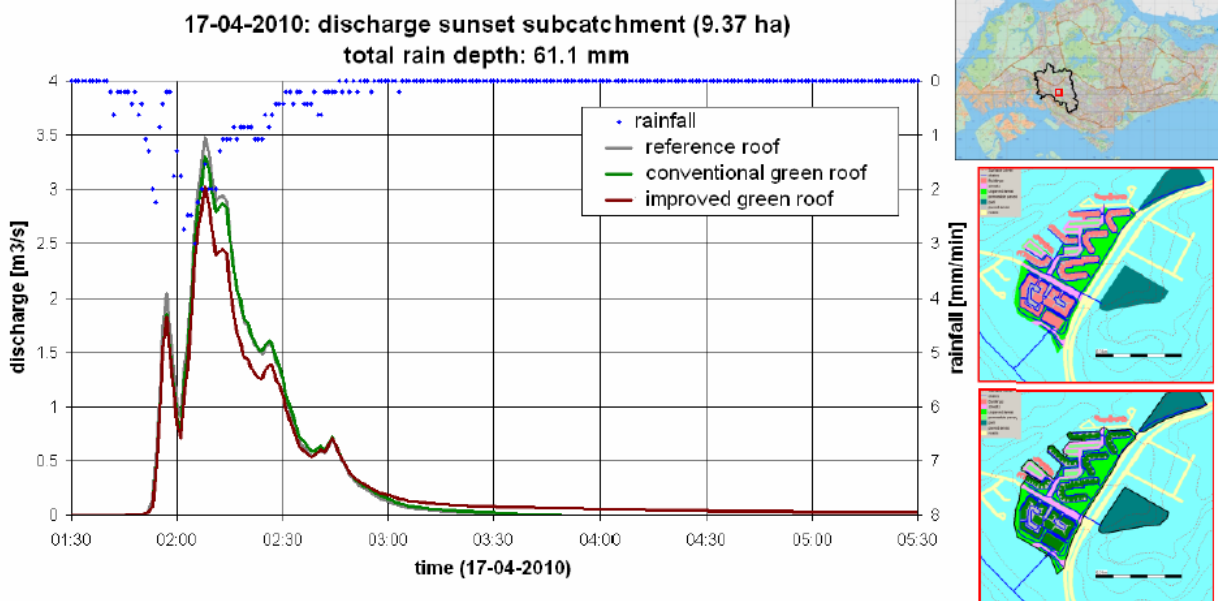
dòng chảy cơ bản. Như đã thấy ở hình 1, dòng chảy tối đa được thay thế hoàn toàn bằng dòng chảy cơ bản đã được tăng cường, trong trường hợp sử dụng mái nhà xanh cải tiến.



Hình 1. Các đường quá trình lưu lượng tương ứng với các loại kết cấu mái nhà khác nhau

Ngoài ra, chúng tôi đã thiết kế những mô hình để dự đoán dòng chảy từ mái nhà và lưu vực hứng nước mưa đô thị nhằm khai thác tối đa lượng nước trong mỗi trận mưa. Những kết quả từ mô hình (SOBEK (CF + PR) và HYDRUS-1D) cho thấy rằng với trận mưa tại các lưu vực nhỏ bao gồm vài lô nhà, thì việc

triển khai mái nhà xanh cải tiến có thể giảm đỉnh lưu lượng dòng chảy khoảng 0.5 m<sup>3</sup>/s. Vì vậy, nếu mái nhà xanh được thực hiện trên một quy mô lớn hơn, sẽ có tiềm năng rất lớn để giảm đỉnh lưu lượng dòng chảy tối đa, và tăng lưu lượng dòng chảy cơ bản.

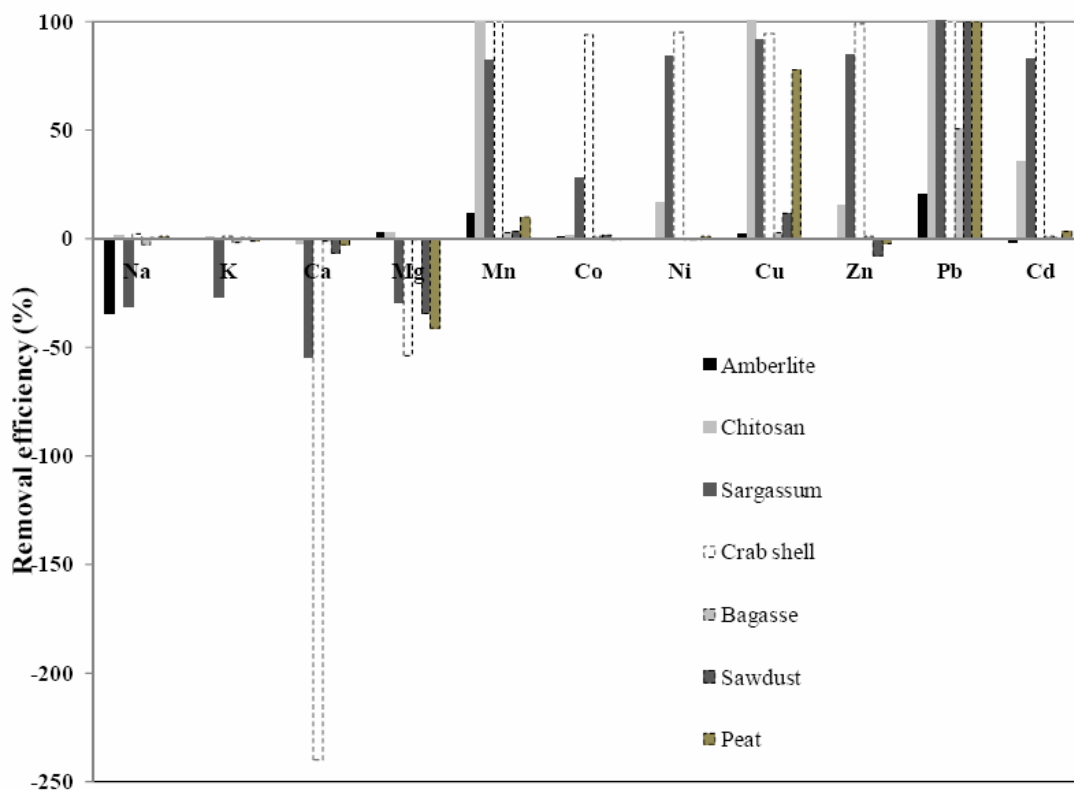


Hình 2. Mô hình đầu ra cho một phần của lưu vực Pandan

### Sử dụng các hấp thụ sinh học

Cải thiện chất lượng dòng chảy đô thị một cách kinh tế và bền vững môi trường là một khía cạnh khác trong công việc nghiên cứu của nhóm. Chất lượng nước có thể được cải thiện ngay từ mái nhà bằng việc sử dụng hấp thụ sinh học. Những thí nghiệm ban đầu được thực hiện với bảy chất hấp thụ khác nhau để khử kim loại từ dòng chảy nước mưa (Hình 3). Với vỏ cua (Crabshell) những chất hấp thụ đã cho thấy hiệu quả khử khác nhau cho mỗi ion kim loại, còn đối với tảo đuôi ngựa (*Sargassum*) có khả năng hấp thụ sinh học hầu hết các ion kim loại. Nhựa trao đổi ion thương mại (Amberlite XAD7) không hấp thụ bất kỳ ion kim loại nào, trong khi những chất hấp thụ còn lại có khả năng hấp thụ chỉ một số lượng giới hạn ion kim loại. Trong trường hợp với chitosan, nó hoạt động rất tốt với một số ion kim loại như Mn, Cu, và Pb. Tuy nhiên, nó cho thấy tiềm năng rất nhỏ trong việc giảm nồng độ ion kim loại nhẹ. Những chất hấp thụ giá rẻ khác như bã mía, than bùn và mùn cưa chỉ cho khả năng

hấp thụ vừa phải với hầu hết các ion kim loại. Ngược lại, tảo biển *Sargassum* rất hợp lý trong hấp thụ sinh học với những ion kim loại nặng, và khử được hơn 90% đối với Cu và Pb. Chất thải công nghiệp hải sản – vỏ cua – cũng cho thấy một khả năng hấp thụ sinh học kim loại nặng rất cao, với hiệu quả hơn 93% cho tất cả ion kim loại nặng. Tuy nhiên, đáng chú ý rằng nồng độ của hầu hết các ion kim loại nhẹ trong dòng ra sau cùng lớn hơn dòng vào, đối với hầu hết những chất hấp thụ đã phân tích. Điều này là do hầu hết các chất hấp thụ đã được đưa vào trước hoặc đã bao gồm những ion kim loại nhẹ trên bề mặt của chúng, khi tiếp xúc với dòng chảy sẽ giải phóng các ion vào trong dung dịch. Ví dụ, tảo biển thu được Na, K, Ca và Mg từ nước biển, khi tiếp xúc với dung dịch kim loại trao đổi những ion kim loại nhẹ này với ion kim loại nặng từ dung dịch do cơ chế trao đổi ion. Dựa trên những kết quả thí nghiệm thu được, vỏ cua và *Sargassum* được xác định như những chất hấp thụ hiệu quả cho việc xử lý dòng chảy nước mưa.



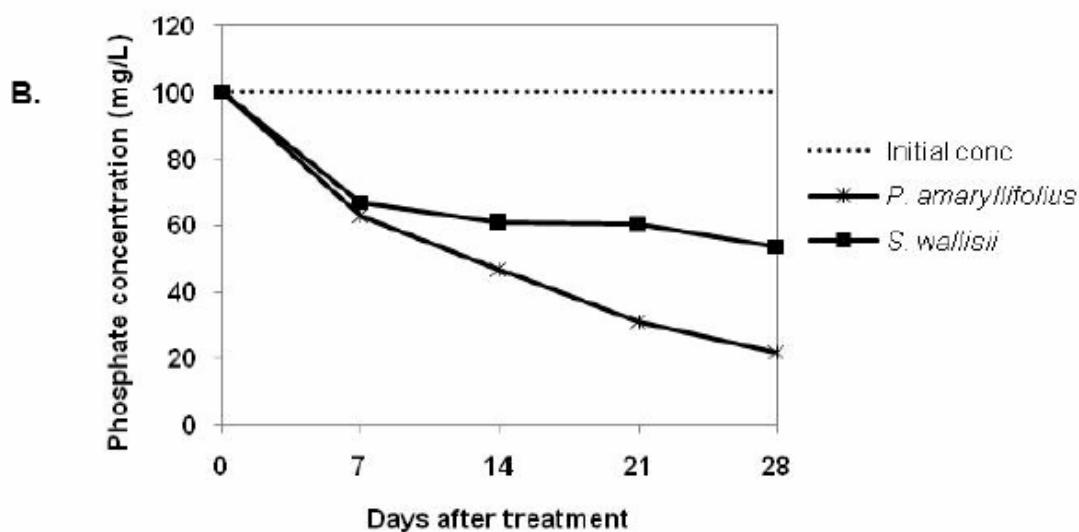
Hình 3. So sánh % kim loại được khử từ dòng nước mưa đô thị sử dụng những chất hấp thụ khác nhau ( $pH = 4.9 \pm 0.1$ ; nhiệt độ =  $22 \pm 1^\circ C$ ; tốc độ khuấy trộn = 160 vòng/phút).

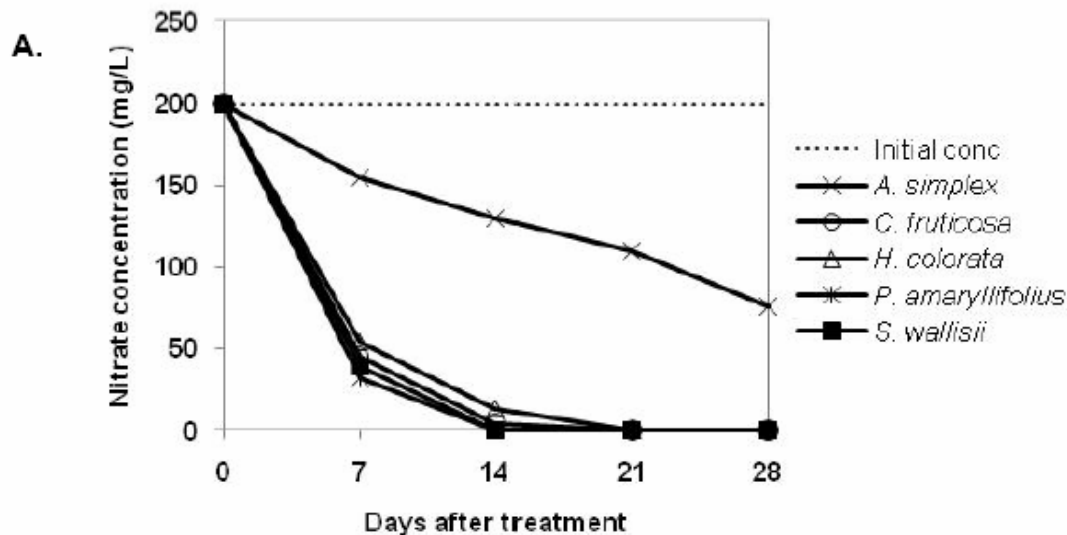
Ngoài việc hấp thụ, thực vật hỗ trợ xử lý sinh học cũng thể hiện một cách tiếp cận hiệu quả về kinh phí cho việc cải thiện chất lượng nước. Trong khi những loài thực vật thủy sinh được biết rằng có thể khử được những kim loại gây ô nhiễm một cách hiệu quả và được kết hợp với xây dựng các vùng đất ngập nước để cải thiện khả năng khử nitrogen và phosphate vô cơ, thì sẽ khó khăn và tốn kém để triệt tận gốc khi chúng phát triển lan tràn ([1], [2]). Những thực vật có mạch, cả thảo mộc và cây gỗ, được trồng rộng rãi cho mục đích nghề làm vườn trong vùng nhiệt đới, có thể là cả một kho tàng lớn cho việc khám phá các loài ứng cử viên thực vật khác với khả năng xử lý sinh học ([3]). Trong nghiên cứu này, một vài loài thực vật trên cạn cho thấy hấp thụ chất dinh dưỡng rất tích cực khi lớn lên trong điều kiện dưới nước, điều này chỉ ra tiềm năng của chúng cho việc điều chỉnh nguồn nước thiếu khí. Với 5 loài thực vật: *A.simplex*, *C.fruticosa* 'Compacta', *H.colorata*, *P. amaryllifolia* và *Spathiphyllum wallissii*, cho thấy khả năng hấp thụ nitrate rất tốt, khử 100% nitrate trong khoảng trung bình 3 tuần (Hình 4A). *A. simplex* cho hiệu quả thấp hơn, giảm nồng độ trung bình 62% từ 200 mg/L xuống 76 mg/L. Dưới những điều kiện thí nghiệm, hiệu quả khử phosphate của các loài thực vật (46-78%) thấp hơn đối với nitrate

(62-100%). *P. amaryllifolia* giảm nồng độ phosphate trung bình khoảng từ 100 mg/L xuống 22 mg/L, trong khi *S. wallissi* chỉ giảm nồng độ xuống 54 mg/L (hình 4B).

#### Sử dụng thực vật lưỡng cư

Khả năng thích nghi sinh thái chuyển tiếp dưới nước - trên cạn của những loài thực vật lưỡng cư này mở ra nhiều ứng dụng trên các bờ sông cho việc pha loãng tự nhiên của những dòng chảy hay những cá thể nước ngọt, kể từ khi chúng có khả năng thích nghi với những biến động mạnh của mực nước mà kết quả từ những thời kỳ dài khô hạn và những đợt gió mùa thông thường trong vùng nhiệt đới. Sử dụng Hydroponics (một phương pháp trồng cây bằng cách sử dụng các giải pháp dinh dưỡng vô cơ, trong nước, mà không có đất) để trồng các loài thực vật sống trên cạn cũng được biết đến là phương pháp hiệu quả trong việc khử chất ô nhiễm, như kim loại nặng và polychlorinated biphenyls (PCBs) ra khỏi nước bằng biện pháp rhizofiltration (một hình thức xử lý sinh học có liên quan đến việc lọc nước thông qua một số lượng lớn rễ cây để loại bỏ các chất độc hại hoặc các chất dinh dưỡng dư thừa) ([4], [5], [6]). Những thực vật này không chỉ cung cấp mỹ quan xanh cho bờ đê, mà còn có thể sử dụng với chi phí thấp và giải pháp xử lý khả thi với các chất ô nhiễm môi trường đô thị.





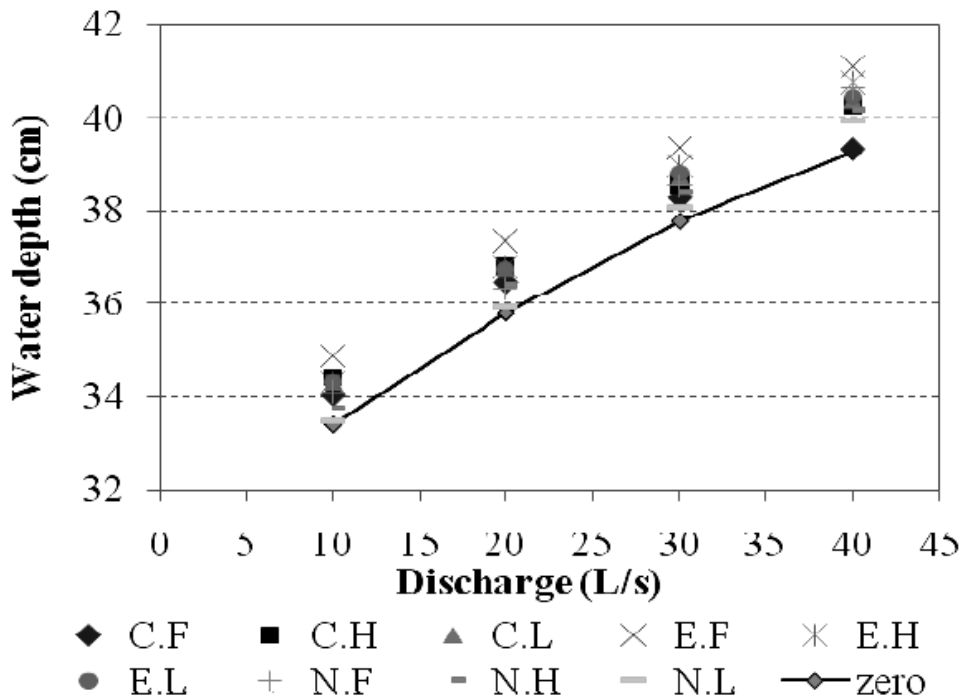
Hình 4. Khử chất dinh dưỡng bằng thực vật trên cạn; *Aglaonema simplex*, *Cordyline fruticosa* 'Compacta', *Hemigraphis colorata*, *Pandanus amaryllifolius* và *Spathiphyllum wallisii*. Thay đổi nồng độ của (A) nitrate và (B) phosphate sau 4 tuần trong nước đã được bổ sung nitrate hay phosphate.

#### Sử dụng thực vật ngập nước

Trồng một số thực vật vào dòng chảy của chúng ta có khả năng dẫn đến rủi ro ngập lụt. Sự hiểu biết về tối ưu hóa mật độ cây trồng và mức độ ngập là điều cần thiết để tối đa hóa khả năng dòng chảy của kênh và giảm thiểu lũ lụt. Để định lượng ảnh hưởng của thảm thực vật đến độ sâu nước trong kênh, nghiên cứu đã sử dụng tỷ lệ gia tăng (so sánh tương đối giữa độ sâu mực nước trong máng thủy lực trồng cây và máng không trồng cây ([7])). Ba loài thực vật (*Echinodorous grandiflorus* - bách thủy tiên, *Nymphaea rubra* - súng, *Cabomba caroliniana* - rong lá ngò) đã được chọn cho thí nghiệm, dựa trên sự khác nhau về đặc tính cơ-sinh học của thực vật. Đúng như kỳ vọng, độ sâu mực nước ở máng trồng cây sâu hơn máng không có cây. Trong cùng một điều kiện dòng chảy, *E. grandiflorus* cho thấy mực nước tăng cao nhất và *N. rubra*, một loài cây lá nổi, cho thấy thấp nhất. Tính mềm dẻo và mật độ cây trồng ảnh hưởng đến tỉ lệ gia tăng. Với những loài thân rất mềm dẻo có lá nhỏ (*C. caroliniana*), tỉ lệ này tăng với mật độ thấp hơn, được thể hiện bởi các giá trị 1,31%,

2,66%, và 2,73% với mật độ tương ứng 517 cây/m<sup>2</sup>, 388 cây/m<sup>2</sup> và 208 cây/m<sup>2</sup>. Tuy nhiên, những loài với độ mềm dẻo thấp hơn và lá lớn hơn như *E. grandiflorus* và *N. rubra* cho thấy sự tương quan ngược lại. Ví dụ, *E. grandiflorus* cho giá trị 4.40%, 3.13% và 2.82% tương ứng với 724 cây/m<sup>2</sup>, 415 cây/m<sup>2</sup> và 208 cây/m<sup>2</sup>. Bên cạnh đó, tỷ lệ gia tăng phụ thuộc vào những điều kiện dòng chảy như lưu lượng hoặc độ ngập nước. Trong điều kiện lưu lượng lớn hơn (hoặc độ ngập nước lớn hơn) tỷ lệ gia tăng tương ứng với *C. caroliniana* giảm nhưng tăng đối với *E. grandiflorus* và *N. rubra*.

Tóm lại, việc trồng thực vật ngập nước trong các kênh hở làm tăng rủi ro ngập lụt. Mức độ rủi ro phụ thuộc vào loại thực vật và mật độ của nó. Có thể thấy cây có rễ trong nước và lá nổi gây nguy cơ thấp hơn hơn những loài sống ngập chìm hoàn toàn. Trong những loài ngập chìm hoàn toàn, cây có độ mềm dẻo linh động cao và lá nhỏ gây nguy cơ thấp hơn. Hơn nữa, khi các kênh được trồng những loài thực vật có thân cứng hơn và lá lớn hơn thì mật độ cây trồng thấp nên được duy trì để giảm rủi ro ngập lụt.

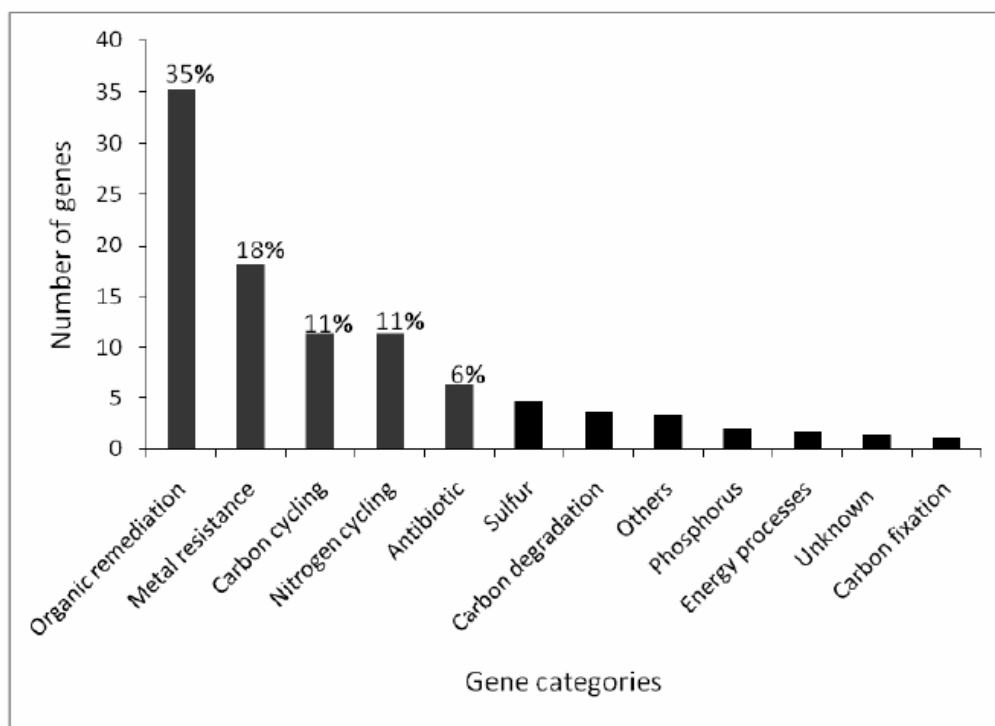


Hình 5. Mực nước trung bình trong máng có trồng thực vật ngập nước. C: *Cabomba caroliniana*; E: *Echinodorus grandiflorus*; N: *Nymphaea rubra*; F: mật độ hoàn toàn; H: mật độ phân nửa; L: mật độ thấp. Zero biểu thị máng không trồng cây.

### Sử dụng vi sinh

Trồng các loài thực vật vào trong dòng chảy cũng làm thay đổi môi trường vi sinh trong kênh dẫn đến những thay đổi về hàm lượng hữu cơ cũng như tải lượng vi khuẩn. Vi khuẩn được biết đến có liên quan đến chu trình địa hóa học và vì vậy đóng một vai trò quan trọng trong việc điều chỉnh lại các chất dinh dưỡng về tự nhiên cho việc tái chế. Giảm đỉnh dòng chảy và tăng khả năng giữ nước trong vùng thấm lưu có thể cung cấp cho vi khuẩn (cùng với rễ cây) đủ thời gian để làm sạch nước khi nó chảy đến hồ chứa nước. Tuy nhiên, để thu được lợi nhuận tối đa, chúng ta trước tiên cần hiểu rõ những quá trình sinh địa hóa cơ bản và ảnh hưởng của áp lực môi trường trong bể hứng nước mưa. Chúng tôi đã thực hiện một nghiên cứu trên lưu vực Pandan (Singapore) dưới những mô hình sử dụng đất khác nhau, liên hệ địa hóa học và cấu trúc gen chức năng bằng cách sử dụng Geochip, một công nghệ vi mạch thông lượng

cao bao trùm hơn 10,00 gen từ hơn 150 nhóm chức năng ([8], [9]). Khám phá dựa trên Geochip của chúng tôi trên cấu trúc gen chức năng cho thấy một số lượng phong phú của 11,800 gen trong lưu vực. Các gen bao gồm xử lý hữu cơ (35%), kháng kim loại (18%), tuần hoàn carbon và nitrogen (11%) và chống kháng sinh (6%) là hết sức dồi dào qua bề nước mưa. Các gen từ ngưng tụ carbon (1%), các quá trình năng lượng (1.6%) và tuần hoàn phospho (2%) là những loại thấp nhất. (Hình 6). Suy giảm carbon (3.5%) và tuần hoàn sulfur (4.5%) có thể so sánh với gen chống kháng sinh. Một khuynh hướng thật rõ ràng rằng do áp lực nhân loại học đô thị, những cộng đồng vi khuẩn đã trở nên đặc biệt hóa. Bên cạnh đó, độ đa dạng liên quan của những gen chức năng được tìm thấy tương tự ở các địa điểm gợi ra câu trả lời về chức năng của vi khuẩn đối với áp lực môi trường, những địa điểm này chưa được địa phương hóa cho khu vực hoạt động.



Hình 6. Sự đa dạng của các loại gen khác nhau trong lưu vực Pandan, Singapore

### Kết luận

Từ các kết quả nghiên cứu tổng hợp từ trong phòng thí nghiệm lẫn thực địa, cùng với những công nghệ mô phỏng, chúng tôi đã tìm ra những giải pháp sinh học tổng hợp có thể cải thiện chất lượng và trữ lượng nước, và cảnh quan của hệ thống các nguồn nước đô thị

một cách hiệu quả hơn và mang tính ứng dụng cao. Những nghiên cứu mở rộng hơn sẽ được triển khai tại nơi nghiên cứu mới của nhóm ở Trung tâm nghiên cứu Thủy sinh Sungei Ulu Pandan, Singapore, sẽ cho phép chuyển những thành tựu kiến thức đạt được vào trong những ứng dụng thực tế.

### Tài liệu tham khảo

- [1]. Tanaka, N., Jinadasa, K.B.S.N., Werellagama, D.R.I.B., Mowjood, M.I.M. and Ng, W.J. (2006). "Constructed tropical wetlands with integrated submergent-emergent plants for sustainable water quality management." J. Environ. Sci. Hea. A 41, 2221-2236.
- [2]. Srivastava, J., Gupta, A., Chandra, H. (2008). Managing water quality with aquatic macrophytes. Rev. Environ. Sci. Biotechnol. 7, 255-266.
- [3]. Tan, H.T.W. and Yeo, C.K. (2009). "The potential for native woody species for enhancing the urban waterways and water bodies environment in Singapore." Raffles Museum of Biodiversity, Singapore.
- [4]. Duchendov, V., Kumar, P.B.A.N., Motto, H., and Raskin, I. (1995). "Rhizofiltration: the use of plants to remove heavy metals from aqueous streams." Env. Sci. Technol. 29, 1239-1245.
- [5]. Liu, J. and Schnoor, J.L. (2008). "Uptake and translocation of lesser-chlorinated polychlorinated biphenyls (PCBs) in whole hybrid poplar plants after hydroponic exposure." Chemosphere 73, 1608-1616.
- [6]. Bonfranceschi, B.A., Flocco, C.G., and Donato, E.R. (2009). "Study of the heavy metal phytoextraction capacity of two forage species growing in a hydroponic environment." J. Hazard. Mater. 165, 366-371.

[7]. Pham Ngoc, Ellis Penning, Arthur Mynett, and Rao Raghuraj. (2010). “Effect of Submerged Tropical Macrophytes on Resistance and Flow Patterns in Open Channels”. Proceedings of 8th International Symposium on Ecohydraulic Conference (Selected to publish on Journal of IAHR).

[8]. He, Z., Gentry, T. J., Schadt, C. W., Wu, L., Liebich, J., Chong, S. C., Huang, Z., Wu, W., Gu, B., Jardine, P., Criddle, C. and Zhou, J. (2007). “GeoChip: a comprehensive microarray for investigating biogeochemical, ecological and environmental processes.” The ISME Journal 1, 67–77.

[9]. Hartmann, A., Schmid, M., Tuinen, D. V. and Berg, G. (2009). “Plant-driven selection of microbes.” Plant and Soil 321, 235–257.

### **Abstract**

## **ECOLOGICAL APPROACH FOR MORE EFFICIENTLY URBAN WATER MANAGEMENT AND IMPROVEMENT**

*Retention and storage of available water resources is a prime concern in water-starved urban cities, such as Singapore, Sydney (Australia) or some cities in Southern Central Vietnam. For efficient management of the water resources and ecosystems, it is necessary to have maximum water harvesting, improved water quality and aesthetics. To this end, we have: i) identified ways to improve retention capacity through peak flow reduction and runoff delay using green roofs; ii) found good biosorbents such as crabshell and Sargassum that is low cost and locally available; iii) identified tropical, terrestrial plant species that can adapt to an urban freshwater habitat and remediate nutrients and heavy metals from water bodies; iv) studied possible flooding risks posed by the introduction of plants in our waterways in relation to plant density and degree of submergence through flume experiments; v) used chip-based technologies to understand the microbial diversity and their functional roles in urban aquatic environments. Our approach involves knowledge creation through modelling and data collection in the laboratory and field after which results are integrated to define interdisciplinary urban water management strategies. Our integrated approach, which encompasses macro- to micro-level perspective, would contribute towards improving urban water management.*