

# Diễn biến môi trường cận đại qua phổ khuê tảo hóa thạch tại Hồ Tonle Sap, Campuchia

- Nguyễn Thị Gia Hằng
- Lê Xuân Thuyên

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 13 tháng 12 năm 2016, nhận đăng ngày 24 tháng 03 năm 2017)

## TÓM TẮT

Hồ Tonle Sap (“Biển Hồ”, Campuchia) là hồ chứa nước ngọt. Kích thước hồ thay đổi mạnh theo chế độ gió mùa qua sự liên thông với dòng chảy sông Mekong, đặc biệt là lũ. Lũ trên Biển Hồ ảnh hưởng rất rõ đến đặc trưng hệ sinh thái hồ nói chung và quần xã khuê tảo nói riêng. Mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá ảnh hưởng của lũ đến quần xã khuê tảo diễn biến theo thời gian. Hai lõi trầm tích đã được thu cách bề mặt nền đất hồ có độ sâu lần lượt là 1,54 m và 1,27 m vào tháng 5 năm 2013 và 2015 và một lõi trầm tích được thu ngay ngã ba sông Mekong và sông Tonle Sap với độ sâu 1,68 m (05/2013). Tuổi tương đối của trầm tích được xác định bằng phương pháp phân tích đồng vị phóng xạ  $^{210}\text{Pb}$  và  $^{137}\text{Cs}$ . Đánh giá độ đa dạng của quần xã khuê tảo hóa thạch lưu giữ trong nền trầm tích thông qua chỉ số phong phú Rarefaction (ES) và đa dạng loài (Hill's N2). Kết quả cho thấy có 70 loài khuê tảo hóa thạch được tìm

thấy trong 3 lõi trầm tích và độ đa dạng quần xã khuê tảo thay đổi rất rõ theo chế độ lũ ( $p$ -value = 0,0045\*\*\*). Đặc biệt trong đó có 6 loài khuê tảo có độ phong phú tương đối cao nhất (>1%): *Aulacoseira distans*, *Aulacoseira granulata*, *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*, *Gyrosigma acuminatum*, *Gyrosigma attenuatum* và *Paralia sulcata*. Sáu loài khuê tảo này có đời sống phiêu sinh và sống bám trong môi trường nghèo đến giàu chất dinh dưỡng; trong đó, hai loài *Aulacoseira granulata* và *A. granulata* var. *angustissima* ưa thích trong môi trường có hàm lượng chất lơ lửng cao. Qua đó, nhận thấy sự xuất hiện lũ đã ảnh hưởng rất lớn đến cấu trúc quần xã khuê tảo nói riêng và sinh vật nói chung, cũng như môi trường hồ Tonle Sap đã bị thay đổi rất mạnh và có liên quan đến sự thay đổi chế độ thủy văn nơi đây.

**Từ khóa:** Hồ Tonle Sap, khuê tảo hóa thạch, nhịp lũ

## MỞ ĐẦU

Hồ Tonle Sap (TLS) hay còn gọi là Biển Hồ được hình thành từ nền đất bằng phẳng của Campuchia cách đây khoảng 5.700 năm [1], nhưng các nghiên cứu gần đây cho thấy lịch sử hình thành hồ TLS đã trải qua nhiều giai đoạn phức tạp và có thể hình thành trong thời gian muộn hơn [2, 3]. Hồ TLS là một hồ chứa nước ngọt lớn tại khu vực Đông Nam Á và nối liền với sông Mekong thông qua sông Tonle Sap (Hình 1). Trong suốt mùa khô (từ tháng 11 đến tháng 4), dòng chảy theo hướng từ hồ đổ qua sông TLS vào sông Mekong. Trong suốt những tháng mùa

mưa (tháng 5 đến tháng 10) khi gió mùa Tây Nam mang nhiều hơi ẩm gây mưa toàn lưu vực, lưu lượng nước dâng cao ngay từ ngã ba sông dẫn đến dòng chảy bị đảo ngược; nước lũ từ sông Mekong chảy qua sông TLS đổ vào hồ. Nhịp lũ hàng năm tạo nên sự co giãn lưu vực nước trong hồ. Tương ứng là mực nước sâu trung bình tăng từ 1–2 m trong mùa khô đến hơn 10 m trong giai đoạn đỉnh lũ, và diện tích của hồ tăng gấp 5 lần, từ 2.500–3.000 km<sup>2</sup> đến hơn 15.000 km<sup>2</sup> [3].

Thực tế cho thấy nhịp lũ từ sông Mekong đã giúp đẩy năng suất sơ cấp trong Biển Hồ tăng cao. Năng suất sinh học gia tăng là nhờ vào hoạt động của nhịp lũ hàng năm. Điều này có liên quan đến các đặc điểm như: (1) lũ đến sớm và kéo dài; (2) dòng chảy của lũ giúp vận chuyển ấu trùng và con non của cá từ sông Tonle Sap vào hồ; (3) đỉnh lũ ngập tràn cả diện tích của hồ; (4) hệ thực vật sống trong những vùng đất ngập nước giúp vận chuyển liên tục các chất dinh dưỡng; (5) lượng trầm tích và hàm lượng các chất dinh dưỡng liên tục đi vào hồ do dòng chảy của lũ mang vào hồ. [1]

*Những nghiên cứu cổ sinh thái trước đây về hồ Tonle Sap*

Môi trường cổ của hồ TLS đã được nghiên cứu, khảo sát vào những năm 1960. Mười chín lõi trầm tích đã được thu từ hồ và phân tích các đặc điểm lý-hóa tính trong đất bao gồm: cấp hạt, hàm lượng nước trong đất, hàm lượng sắt và khoáng chất [1]. Người ta đã xác định trong đáy hồ gồm có: một "lớp bùn trẻ" mà Carbonnel cho là sự lắng đọng trong điều kiện môi trường cận đại, và ở bên dưới lớp bùn trẻ này là một "lớp bùn cổ" đã tồn tại từ lâu trong những điều kiện môi trường khác nhau [1]. Lớp bùn cổ này là lớp trầm tích lót đáy hồ và có thể tương đương về địa tầng với phù sa cổ được mô tả trong nhiều vật liệu địa chất trong khu vực. Sau này, Penny còn tìm thấy phấn hoa của loài Đước (*Rhizophora* spp.) và một loài khuê tảo nước lợ *Thalassiosira bramaputrae* (Her.) Hak. & Lock trong trầm tích "lớp bùn trẻ" ở hồ TLS [2]. Penny đã suy luận rằng sự hiện diện của loài phấn hoa đó chứng tỏ có ảnh hưởng của xâm nhập mặn trong quá khứ theo sông Mekong tới phạm vi Biển Hồ [2].

Trong nghiên cứu gần đây [3, 4] thì bề dày "lớp bùn trẻ" này có nơi khá dày, khi chúng bồi phủ lấp các thung lũng sông cổ khá sâu được phát hiện thấy ở một số nơi dưới đáy hồ. Đồng thời các tác giả cũng tách ra được từ "lớp bùn trẻ" gồm 2 lớp phụ. Lớp trên dày khoảng 1 mét là trầm tích hồ có chịu ảnh hưởng lũ từ sông Mekong, và bên dưới là lớp trầm tích hồ không có tác động của lũ. Các nghiên cứu về phân

hoa, thành phần vật chất trong trầm tích của Day và cs. [1], Penny [2], Fukomoto [4] cho thấy: "lớp bùn trẻ" gồm 2 tầng trầm tích gọi là trầm tích hồ có màu xám xanh không ảnh hưởng lũ, và phủ lên trên là tầng trầm tích hồ có màu xám nâu hình thành trong điều kiện có ảnh hưởng lũ từ sông Mekong.

Lũ là một trong những yếu tố sinh thái vô sinh góp phần gây xáo trộn các quần xã sinh vật bám ở sông. Sự xáo trộn cực mạnh gây ra do hiện tượng lũ quét thường ít xảy ra ở các con sông và sự truyền lũ khi đến hạ nguồn thường bị giảm. Trong các nhóm sinh vật bám thì khuê tảo là những loài vi tảo được tìm thấy bất kỳ nơi nào độ ẩm cao, và mỗi loài trong quần xã của chúng có đời sống phát triển riêng biệt, phụ thuộc vào từng đặc điểm môi trường hóa lý khác nhau [5]. Khuê tảo là công cụ minh chứng tuyệt vời để tìm hiểu những điều kiện sống của cổ sinh nhờ sự phong phú về số lượng cá thể cũng như thành phần loài của chúng trong nền trầm tích, cùng với khả năng đáp ứng với sự thay đổi của môi trường. Do đó, khuê tảo thường được sử dụng như sinh vật chỉ dẫn cho sự thay đổi môi trường về cổ sinh trong các thủy vực hồ [2].

Thành phần loài và độ phong phú của quần xã tảo bám sống trong môi trường thủy sinh đều bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố tương tác với nhau như hóa tính nước, ánh sáng, nhiệt độ, tốc độ dòng chảy, kiểu dài vật và con mồi [6]. Trong những yếu tố trên thì dòng chảy thường là một yếu tố vật lý ảnh hưởng mạnh nhất đến quần xã khuê tảo [7]. Sự xáo trộn do lũ tạo nên sự thay đổi lớn trong hệ sinh thái thủy sinh, phát sinh đời sống không đồng đều, kiểu hình và những động thái của sinh vật [8]. Lũ có thể làm thay đổi sự chuyển hóa hay sự trao đổi các vật chất trong hệ sinh thái và làm giảm sinh khối tảo bám ở sông [9]. Trong trường hợp quần xã sinh vật còn sống sót sau khi môi trường bị xáo trộn mạnh thì chúng có thể khôi phục lại ngay lập tức. Điều này có thể được xem như là sự phối hợp giữa các nhóm loài về khả năng chống lại sự xáo trộn và sự co dãn trong hệ sinh thái ở sông [10]. Tần suất xuất hiện và cường độ của lũ đã ảnh hưởng lên quần xã tảo bám, điều này đã thể hiện

qua sự nhập cư hay xuất cư của một vài nhóm tảo, hay sự sản sinh cũng như sự phân bố của các nhóm loài trong quần xã cùng với chiến lược phát triển và bám của mỗi loài [10].

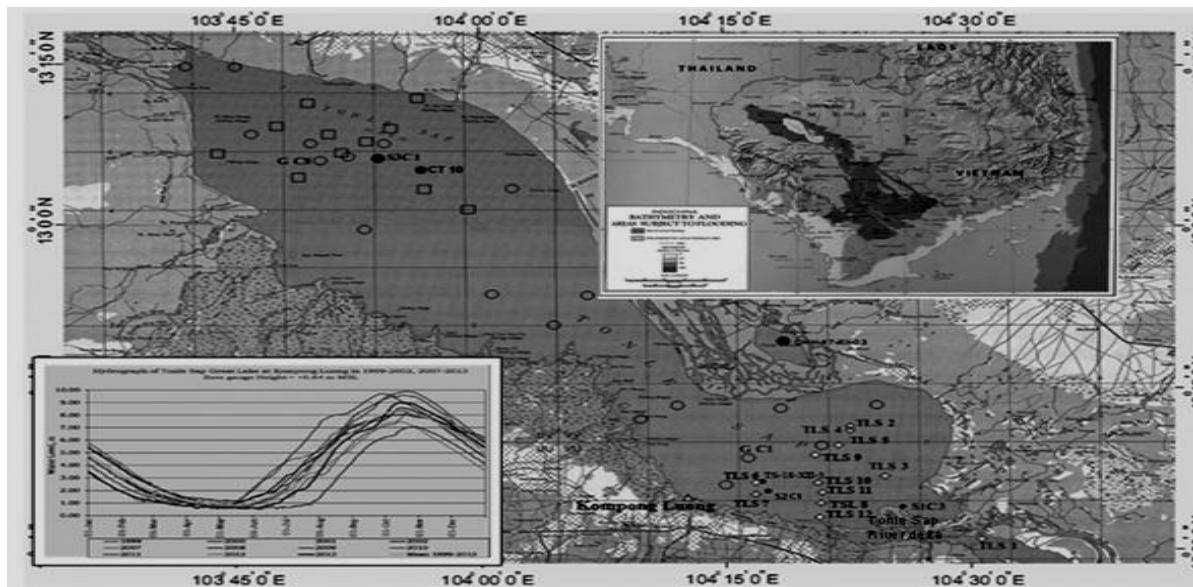
Mục đích nghiên cứu này là tìm hiểu diễn biến của môi trường thông qua khuê tạo hóa thạch để xem xét hồ TLS có bị ảnh hưởng bởi lũ hay không? Để thực hiện mục tiêu này, chúng tôi đã tập trung phân tích, đánh giá mật độ và độ đa dạng của quần xã khuê tạo diễn biến theo thời gian trong 3 lõi trầm tích: 2 lõi được thu trong hồ và 1 lõi được thu ngay tại nơi sông Tonle Sap đổ vào hồ.

## VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

### Vị trí nghiên cứu

Hồ Tonle Sap (Cambodia) đã được chọn làm vị trí nghiên cứu. Để kết hợp đối sánh các kết quả nghiên cứu trước đây trong hồ, chúng tôi đã tập trung

nghiên cứu diễn biến quần xã khuê tạo trong hai lõi trầm tích, đó là TLS 2 và TLS 6. Lõi trầm tích số 6 (kí hiệu là TLS 6) được thu ngay bên cạnh vị trí TS-18-XII-03. Vị trí này đã được khảo sát trước đây bởi nhóm nghiên cứu của Day và cs. [3]. Lõi trầm tích TLS 2 được thu ở tọa độ  $12^{\circ}41'21.50''N$ ;  $104^{\circ}22'38.80''E$  với chiều sâu là 1,54 m tính từ nền bề mặt đất của hồ, được thu vào ngày 31 tháng 05 năm 2013 và mực nước trong hồ sâu 60 cm. Lõi trầm tích TLS 6 thu ở tọa độ  $12^{\circ}36'11.10''N$ ;  $104^{\circ}17'9.90''E$  với chiều sâu là 1,27 m và mực nước trong hồ sâu 65 cm (23/06/2015). Ngoài ra, chúng tôi cũng tập trung nghiên cứu phân tích lõi trầm tích TLS 1, đây là lõi trầm tích được thu ngay cửa sông Tonle Sap đổ vào hồ, ở tọa độ  $12^{\circ}30'59.60''N$ ;  $104^{\circ}30'14.90''E$  với chiều sâu 1,68 m và độ sâu mực nước là 61 cm vào ngày 30 tháng 5 năm 2013 (Hình 1).



**Hình 1.** Bản đồ cho thấy vị trí thu các lõi trầm tích trong hồ Tonle Sap và các điểm nghiên cứu trước đây của Day và cs. [3], Penny [2], Fukomoto [4] được ký hiệu là những chấm tròn đen; vị trí nghiên cứu của Tsukawaki [11] được ký hiệu là các ô vuông; vòng tròn là nghiên cứu của Carbonnel [12]. Hình tam giác là một vị trí được thu trong trạm KompongLuong. Hình trên - bên phải thể hiện hình ảnh của hồ Tonle Sap và các khu vực bao quanh. Hình dưới - bên trái là thủy học tại trạm KompongLuong

### Xác định đặc điểm nền trầm tích và niên đại địa chất

Lõi trầm tích được cắt dọc, mô tả các đặc trưng vi cấu trúc, màu sắc. Sau đó, mẫu được lấy theo lớp,

theo độ sâu để sử dụng cho các phân tích khác nhau: cấp hạt, tuổi trầm tích và khuê tạo. Đặc điểm nền trầm tích được ghi nhận thông qua màu sắc và sa cấu

của nền đất. Màu sắc của nền đất được so sánh với bản so màu Munsell. Sa cấu là tỉ lệ phần trăm các cấp hạt khoáng (sét, thịt, cát) trong đất dựa vào phương pháp phân tích cấp hạt theo tiêu chuẩn ISO 11277:2009.

Phương pháp khảo sát đồng vị phóng xạ  $^{210}\text{Pb}$  và  $^{137}\text{Cs}$  đã được sử dụng để phân tích độ tuổi tương đối của các lớp trầm tích trong lõi TLS 1, TLS 2 và TLS 3. Mật độ đồng vị trong mẫu được đo tại Viện Nghiên cứu Hạt nhân, Đà Lạt, Việt Nam theo phương pháp của Appleby [13] bằng máy quang phổ Gamma 150 sử dụng đầu dò high-purity Germanium detector (PHGe) của Canberra Industries Inc. (Mỹ).

Phương pháp xác định tuổi trầm tích theo đồng vị  $^{14}\text{C}$  chứa trong những mảnh vỏ của động vật hai mảnh vỏ *Corbicula* spp.. Chúng tập trung với mật độ cao trong lõi trầm tích TLS 4 được thu ở giữa lòng hồ và ở kề bên cạnh lõi TLS 2. Vì lý do này mà mẫu được chọn là mẫu được bảo tồn trong lõi trầm tích TLS 4 thì tốt hơn so với trong lõi TLS 2. Hơn nữa, trật tự cấu trúc trầm tích giữa 2 lõi này là tương đồng. Tuổi trầm tích theo đồng vị  $^{14}\text{C}$  được phân tích theo phương pháp của Aitken [14] tại PTN Nghiên cứu phóng xạ và chất đồng vị (Leibniz Laboratory for Radiometric Dating and Stable Isotope Research), Đại học Kiel (Đức).

#### Phân tích khuê tảo

Tổng cộng có 111 mẫu đã được phân tích cho cả 3 lõi trầm tích đã nêu. Trong mỗi lõi, mẫu được cắt thành từng đoạn khoảng 5 cm. Tất cả các mẫu đã được xử lý theo phương pháp oxy hóa các hợp chất hữu cơ bằng  $\text{H}_2\text{O}_2$ , cùng với hydrochloric acid (HCl) và tetra-sodiumpyrophosphate ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) [15]. Trong mỗi mẫu, ít nhất 400 mảnh vỏ (nếu có thể) được định danh và đếm dưới độ phóng đại 1000 của kính hiển vi Leica ICC50 HD tại PTN Sinh môi, Bộ môn Sinh thái-Sinh học tiến hóa, Khoa Sinh học-Công nghệ Sinh học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia TP HCM. Định danh được thực hiện đến cấp phân loại thấp nhất là loài và thứ loài (ngoại trừ bào tử *Chaetoceros*) từ nhiều nguồn phân loại [16–18]. Bào tử *Chaetoceros* được xác định dựa trên

hình thái, kích thước, đặc điểm phân loại theo tài liệu của Ishii [19].

Mật độ mảnh vỏ được tính như là số lượng mảnh vỏ/ g trầm tích khô. Độ phong phú của mỗi loài được tính dựa trên số lượng mảnh vỏ của loài đó trên tổng số mảnh vỏ có trong mẫu (Relative abundance % hay Relative percentage %) (RA). Đối với những loài có  $\text{RA} > 1\%$  được sử dụng để phân tích đánh giá độ đa dạng theo thời gian. [20]

#### Phân tích dữ liệu

Dựa trên kết quả phân tích độ phong phú tương đối (RA%) để phân chia tối ưu nhất những phân khu quần xã khuê tảo (Diatom Assemblage Zones – DAZ) dọc theo chiều sâu lõi trầm tích. Sự phân chia này được tính theo phương pháp tổng bình phương độ lớn khoảng cách (Euclidean) giữa các nhóm [21].

Độ phong phú của loài trong quần xã khuê tảo theo thời gian được đánh giá thông qua phương pháp phân tích Rarefaction (ES) [22]. Phương pháp này rất tối ưu với những mẫu có độ chênh lệch rất lớn giữa số lượng loài và số lượng mảnh vỏ đếm được giữa các tầng mẫu trong một lõi trầm tích. Vì vậy mà chuỗi số liệu trước khi phân tích độ phong phú theo phương pháp Rarefaction phải được "chuẩn hóa". Bên cạnh đó, sử dụng chỉ số đa dạng Hill's  $N_2$  để tính độ đa dạng của loài trong quần xã khuê tảo, tính cho mỗi đoạn trầm tích [23]. Chỉ số đa dạng Hill's  $N_2$  giúp làm sáng tỏ nguyên nhân các yếu tố sinh thái ảnh hưởng đến sự sai khác về đa dạng ở những độ sâu khác nhau trong lõi trầm tích [24]. Phương pháp phân tích phương sai đa nhân tố (Multi-ANOVA) được sử dụng nhằm đánh giá ảnh hưởng của lũ và vị trí nền trầm tích đến mật độ mảnh vỏ theo thời gian bằng phần mềm R.

### KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### Kết quả

##### Đặc điểm nền trầm tích và niên đại

Phần trên cùng trong tất cả 4 lõi trầm tích (TLS 1, TLS 2, TLS 4, TLS 6) có chiều dài từ 0–20 cm, chủ yếu là lớp bùn loãng có màu nâu xám (10YR 5/2). Lõi TLS 1, từ 20–100 cm lớp đất có màu nâu xám (10YR 5/2) cùng với các hạt khoáng sét mịn và các vật liệu hữu cơ bị xáo trộn; ở đoạn khoảng 100–

155 cm hầu hết các vật liệu thô cứng và khoáng sét mịn, nền trầm tích có màu nâu xám (10YR 5/1). Lõi TLS 6 (20–80 cm) và TLS 4 (20–95 cm) có đặc điểm tương đồng như lõi TLS 1 nhưng ở đây tìm thấy nhiều mảnh vỡ của loài *Corbicula* spp., đặc biệt là trong lõi TLS 4 tìm thấy rất nhiều mảnh vỏ của loài *Corbicula* spp. ở độ sâu từ 90–95 cm. Lõi TLS 2 từ độ sâu 20–70 cm là sét bột dẻo mềm màu xám nâu. Riêng lõi TLS 6 từ 80–125 cm, nền trầm tích có lớp sét mịn, các hạt thô, có màu nâu vàng nhạt (Gley 1 5/5 GY). Đặc điểm nền trầm tích này tương đồng với lõi trầm tích TLS 4 từ 95–105 cm và 105–165 cm có đặc điểm là khoáng sét cứng, có màu xám sáng đến xám xanh rêu (5Y 6/1–5Y 6/2) với sự phân tán của các hạt sắt màu nâu đỏ đến vàng. Trong khi ở phần dưới của lõi TLS 2, từ 70–154 cm có đặc điểm là sét dẻo cứng (Hình 2).

Phân bố đồng vị  $^{210}\text{Pb}$  và  $^{137}\text{Cs}$  gần như toàn bộ bề dày lớp trầm tích nâu xám trong các lõi trầm tích TLS 1, TLS 2 cho thấy lớp này hình thành rất gần so với hiện tại. Đặc biệt, cường độ  $^{210}\text{Pb}$  xuất hiện khá cao cho tới độ sâu 60 cm tương đương như cường độ của  $^{210}\text{Pb}$  trong lớp 0–20 cm (TLS 2). Điều này chứng tỏ là cả chiều dài lõi trầm tích TLS 1 (dài 153 cm) được hình thành trong thời gian rất ngắn (khoảng sau 2.000 năm), tương ứng với giai đoạn trầm tích bùn loãng có màu nâu xám trong lòng hồ. Dưới lòng hồ, tuổi tuyệt đối của mẫu vỏ ốc *Corbicula* spp. ở độ sâu 0,66 m trong lõi TLS 4 xác định được  $1530 \pm 25$  năm và đoạn 0,95 m ở vị trí đáy lót trầm tích hồ có ảnh hưởng của lũ xác định được  $2145 \pm 30$  năm. So sánh tương quan tính chất của địa tầng trong các lõi trầm tích thu được tại nghiên cứu này và các nghiên cứu trước đây [2, 3] thì thời gian  $2145 \pm 30$  năm được xem là thời điểm lũ xuất hiện từ sông Mekong lên môi trường Biển Hồ (Lê Xuân Thuyên và Nguyễn Thị Gia Hằng, chưa công bố). Thời điểm này được xem là muộn hơn so với công bố trước đây [3].

#### Diễn biến quần xã khuê tảo theo thời gian

Tổng cộng có 70 loài khuê tảo hóa thạch thuộc 33 giống và bào tử của giống *Chaetoceros* và của khuê tảo đã được tìm thấy trong 111 mẫu dọc theo

chiều dài của 3 lõi trầm tích (TLS 1, TLS 2 và TLS 6). Trong đó, có 26 loài khuê tảo hóa thạch được tìm thấy trong lõi TLS 2; 19 loài (TLS 6) và 45 loài (TLS 1) (bao gồm cả bào tử). Kết quả phân tích DAZ cho thấy quần xã khuê tảo phân thành 5 nhóm loài theo độ sâu (Hình 2). Dựa vào các nghiên cứu về phân hoa, thành phần vật chất trong trầm tích của Day và cs. [3], Penny [2], Fukomoto [4] cho thấy nền trầm tích bị ảnh hưởng bởi chế độ thủy văn, đặc biệt là lũ. Do vậy, tầng trầm tích trong 3 lõi được phân thành hai nhóm: (i) tầng trầm tích hồ có màu xám xanh không ảnh hưởng lũ; và (ii) tầng phủ lên trên là tầng trầm tích hồ màu xám nâu hình thành trong điều kiện có ảnh hưởng lũ từ sông Mekong. Do đó, kết quả phân tích phương sai đa nhân tố cho thấy trung bình mật độ mảnh vỏ có sự khác biệt rõ về mặt thống kê giữa tầng có lũ và tầng không có lũ [ $F(1; 87)=5,19$ ;  $p\text{-value}=0,03^*$ ] ở mức tin cậy 95 %. So sánh cặp theo phân tích Tukey HSD chỉ ra rằng trung bình mật độ mảnh vỏ của tầng có lũ ( $8,29 \pm 0,23$ ) có sự khác biệt rõ với tầng không có lũ ( $6,84 \pm 0,62$ ) với 95 % C.I. [0,18; 2,71] và  $p\text{-value}=0,0045^{***}$ . Tuy nhiên, mật độ mảnh vỏ khuê tảo chưa thấy sự khác biệt rõ giữa vị trí trong hồ và ngoài hồ [ $F(1; 87)=3,92$ ;  $p\text{-value}=0,05$ ] ở mức tin cậy 95 %. Vì vậy, kết quả diễn biến cấu trúc quần xã khuê tảo được phân thành hai nhóm như sau:

#### Tầng trầm tích có ảnh hưởng lũ

Hai lõi trầm tích TLS 2 và TLS 6 được thu trong Biển Hồ và đoạn trầm tích tương ứng từ 0–94 cm (TLS 2) và 0–78 cm (TLS 6) có màu xám nâu, hình thành trong điều kiện có ảnh hưởng lũ từ sông Mekong. Do vậy, thành phần và độ phong phú cũng như độ giàu loài có sự khác biệt so với tầng trầm tích không ảnh hưởng của lũ nằm ở bên dưới. Trong giai đoạn có lũ, hầu như nhóm loài *Aulacoseira* chiếm ưu thế nhất. Ở đoạn trầm tích từ 58,5–85,5 cm (TLS 6), ngoài sự xuất hiện của loài khuê tảo nước ngọt là *A. granulata* còn tìm thấy nhóm loài khuê tảo nước mặn như: *Gyrosigma hippocampus*, *Paralia sulcata*, *Thalassionema nitzschioides* cùng với bào tử của *Chaetoceros* spp.. Tuy vậy, loài *A. granulata* và bào tử khuê tảo chiếm ưu thế nhất (lần lượt là  $RA = 66,67$

%; RA = 88,89 %). Độ phong phú của loài trong quần xã cao nhất (ES= 4,76) ở đoạn từ 67,5–70,5 cm nhưng độ giàu loài lại chiếm ưu thế trong đoạn từ 76,5–79,5 cm với Hill's N2=3,57.

Giai đoạn có lũ, sự đa dạng về thành phần loài cao hơn so với giai đoạn không bị ảnh hưởng lũ. Tầng trầm tích từ 0–70 cm (TLS 2) tập trung rất nhiều loài khuê tảo sống trong môi trường nước ngọt (*Achnanthes lanceolata* var. *elliptica*, *A. granulata*, *A. granulata* var. *angustissima*, *Cyclotella litoralis*, *Discostella pseudostelligera*, *Eunotia arcus*, *Gyrosigma acuminatum*, *Gyrosigma eximium*, *Navicula* cf. *bryophila*, *Navicula pennata*) đến nước mặn (*Actinocyclus curvatulus*, *Cymatotheca weissflogii*, *Gyrosigma fasciola*, *Nitzschia capitellata*, *P. sulcata*, *Thalassiosira ferelineata*, *Thalassiosira*

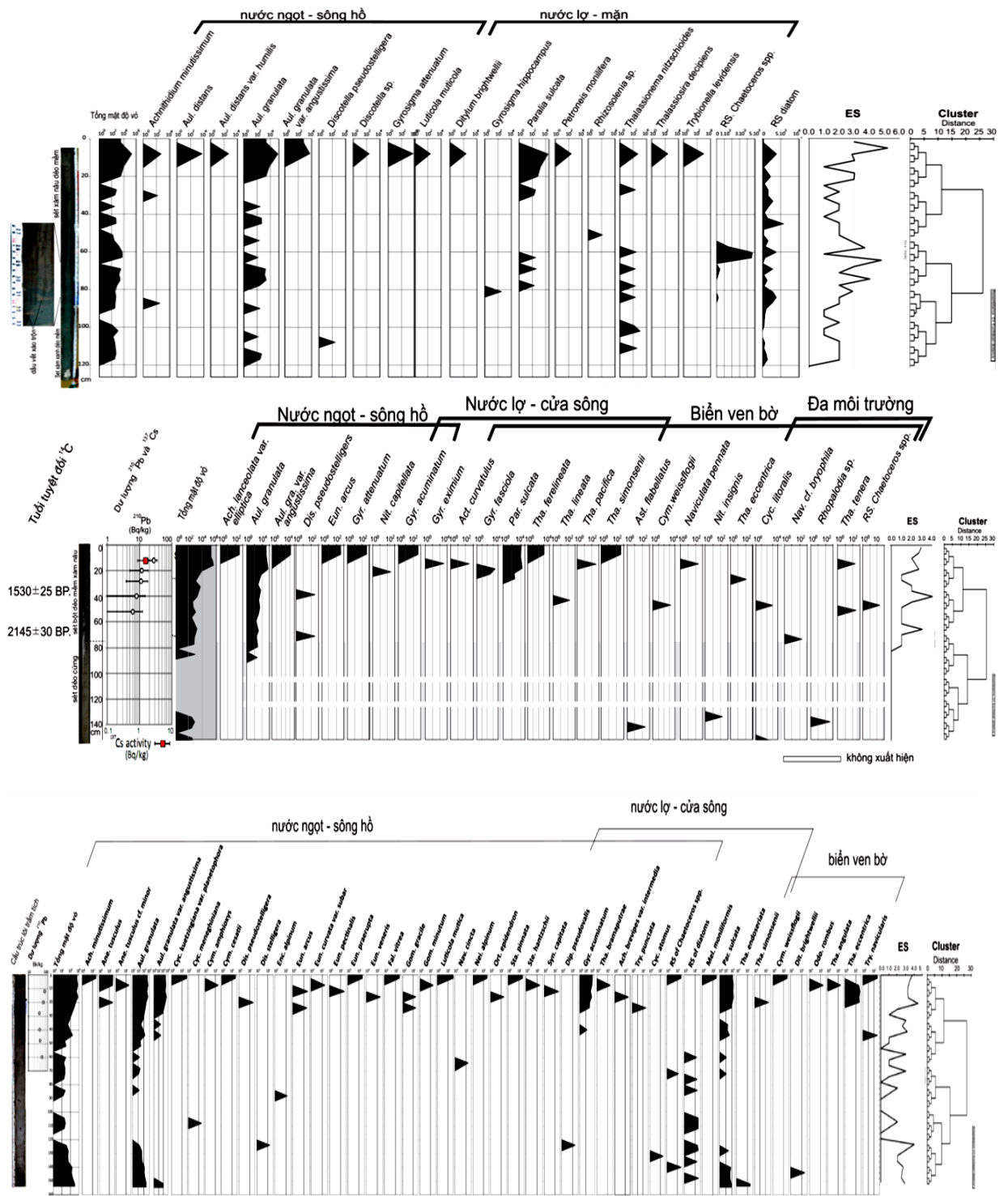
*lineata*, *Thalassiosira pacifica*, *Thalassiosira simonsenii*, *Thalassiosira tenera*). Độ đa dạng của quần xã cao nhất trong 42–46 cm. Loài *A. granulata* vẫn là loài khuê tảo chiếm ưu thế nhất (RA=100 %) (Hình 2). Trong khi lõi trầm tích TLS 6, độ đa dạng của quần xã chiếm ưu thế từ ~ 4–12 cm nhưng độ giàu loài lại cao trong 25,5–28,5 cm. Nơi đây cũng có sự tập trung của rất nhiều loài khuê tảo sống trong môi trường nước ngọt (*Achnantheidium minutissimum*, *Aulacoseira distans*, *A. distans* var. *humilis*, *A. granulata*, *A. granulata* var. *angustissima*, *Gyrosigma attenuatum*, *Luticola muticola*) và nước mặn (*Ditylum brightwellii*, *Gyrosigma hippocampus*, *P. sulcata*, *Petroneis monilifera*, *Thalasionema nitzschioides*, *Thalassiosira decipiens*, *Tryblionella levidensis*) và bào tử khuê tảo (Hình 2) (Bảng 1).

**Bảng 1.** Mật độ mảnh vỏ, độ phong phú và độ giàu loài khuê tảo cao nhất trong các tầng trầm tích khác nhau được thu trong hồ Tonle Sap

Tầng trầm tích (lõi)	Mật độ mảnh vỏ (mảnh vỏ/ g trọng lượng khô)	Độ phong phú (ES)	Độ giàu loài (Hill's N2)
42–46 cm (TLS 2)	255–403,119	3,99	4,00
4–12 cm (TLS 6)	3,332–188,446	5,17	1,69
25,5–28,5 cm (TLS 6)	368 – 188,446	3,00	1,84

Trong khi đó, lõi trầm tích TLS 1 nằm ngay cửa sông Tonle Sap (nối thông từ sông Mekong) đổ vào Biển Hồ và là nơi giao nhau với các phụ lưu xung quanh; do đó, cấu trúc quần xã khuê tảo có sự phong phú và thay đổi mạnh hơn so với vùng nước tương đối khép kín như ở trong Biển Hồ. Trong môi trường trầm tích cận đại (đoạn 0–66 cm) tập trung rất nhiều loài khuê tảo sống trong các môi trường khác nhau, từ môi trường nước ngọt – nước lợ – nước mặn. Độ đa dạng tập trung cao nhất trong khoảng từ 22–26 cm. Trong đó, loài *A. granulata* chiếm ưu thế nhất (RA=100 %). Tuy nhiên, trong khoảng từ 66–134 cm, thành phần loài khuê tảo tương đối ít, như trong đoạn trầm tích từ 66–98 cm chỉ thấy tìm thấy hai loài khuê tảo nước ngọt (*A. granulata*, *Encyonema alpinum*) và

1 loài khuê tảo nước mặn (*P. sulcata*), cùng với bào tử của *Chaetoceros spp.* và của khuê tảo. Độ đa dạng của quần xã tập trung nhiều nhất ở đoạn 70–74 cm. Ngược lại, trong nền trầm tích lắng đọng trước đó (~ 98–154 cm) có rất nhiều loài khuê tảo sống trong môi trường nước ngọt (*A. granulata*, *A. granulata* var. *angustissima*, *Cyclotella atomus*, *C. meneghiniana*, *Diploneis pseudovalis*, *Discostella stelligera*) và mặn (*Ditylum brightwellii*, *P. sulcata*, *Thalassiosira endoseriata*) cùng với bào tử của *Chaetoceros spp.* và của khuê tảo. Mật độ dao động trong khoảng từ 408 – 3513 mảnh vỏ/ g trọng lượng khô. Độ đa dạng của quần xã cao nhất trong khoảng từ 122 – 126 cm, loài *A. granulata* và bào tử khuê tảo chiếm ưu thế (RA lần lượt là 91,13 % và 100 %) (Bảng 2).



**Hình 2.** Độ phong phú về loài trong cấu trúc quần xã (ES), sự phân nhóm (DAZ) và mật độ mảnh vỏ khuê tạo trong nền trầm tích được thu bên trong hồ Tonle Sap (lần lượt từ trên xuống: TLS 2, TLS 6, TLS 1).

**Bảng 2.** Mật độ mảnh vỏ, độ phong phú và độ giàu loài khuê tảo cao nhất trong các tầng trầm tích khác nhau được thu bên ngoài hồ Tonle Sap (TLS 1)

Tầng trầm tích (lõi) (cm)	Mật độ mảnh vỏ (mảnh vỏ/g trọng lượng khô)	Độ đa dạng của quần xã (ES)	Độ giàu loài (Hill's N2)
22–26	77,737	4,44	2,46
70–74	594	3,00	3,00
122 –126	1,230	4,00	4,00

*Tầng trầm tích không có lũ tác động*

Ở đây có tầng trầm tích hồ ở độ sâu dưới 78 cm trong lõi trầm tích TLS 6 và trầm tích không phân chia đã bị phong hóa nhẹ ở dưới 95 cm trong lõi trầm tích TLS 2. Trong tầng trầm tích không phân chia đã bị phong hóa nhẹ ở lõi TLS 2, thành phần loài khuê tảo rất nghèo nàn, gần như là không tìm thấy bất kỳ mảnh vỏ khuê tảo hóa thạch được lưu giữ trong nền trầm tích. Ở độ sâu 134–150 cm chỉ tìm thấy một vài mảnh vỏ; trong khi ở độ sâu 106–134 cm tìm thấy duy nhất một loài khuê tảo sống trong môi trường nước mặn, đó là loài *Nitzschia insignis* với mật độ mảnh vỏ 317 mảnh vỏ/ g trọng lượng khô (Hình 2).

Tuy nhiên, đối với lõi trầm tích TLS 6 (ở độ sâu < 78 cm), thành phần loài khuê tảo đa dạng hơn so với lõi TLS 2, nhưng độ phong phú về loài trong cấu trúc quần xã khuê tảo (ES) lại thấp hơn so với tầng trầm tích có ảnh hưởng lũ ở lõi TLS 1, và phần trên các lõi TLS 2 và TLS 6. Ở đây, thành phần loài khuê tảo tìm thấy ở độ sâu từ 85,5–123,5 cm có 3 loài khuê tảo sống trong môi trường nước ngọt (*Achnanthydium minutissimum*, *A. granulata*, *Discotella pseudostelligera*) và 1 loài sống trong môi trường lợ-mặn (*Thalassionema nitzschioides*) cùng với bào tử khuê tảo. Trong đó, bào tử khuê tảo xuất hiện nhiều nhất (RA = 100 %) và mật độ khuê tảo dao động trong khoảng 507–3015 mảnh vỏ/ g trọng lượng khô. Độ phong phú của loài trong quần xã cao nhất là ES = 2,00 và độ giàu loài Hill's N2=1,80 (Hình 2).

Nhìn chung, cấu trúc quần xã khuê tảo trong nền trầm tích theo thời gian cho thấy nhóm loài *Aulacoseira* spp. chiếm ưu thế nhất, kể đến là nhóm *Gyrosigma* spp. và loài khuê tảo nước lợ *Paralia*

*sulcata* có độ ưu thế rất cao trong 3 lõi trầm tích. Độ thường gặp dao động trong khoảng từ 3,14–92,51 % và độ đa dạng loài Hill's N2 dao động từ 1,00–7,18.

**THẢO LUẬN**

Đặc điểm tầng đất trong hai lõi trầm tích TLS 2 và TLS 6 cho thấy đây là môi trường trầm tích khép kín, ít bị xáo trộn bởi các tác động của dòng chảy hơn so với lõi TLS 1. Tuy nhiên, đã có một sự tương đồng nhất định giữa thành phần các nhóm khuê tảo ở 3 vị trí này, phản ánh có sự tương tác giữa môi trường bên trong với bên ngoài hồ trong giai đoạn lũ. Trong đó, nhóm loài *Aulacoseira* spp. là loài phổ biến, xuất hiện hầu như liên tục trong tất cả các môi trường theo thời gian, đặc biệt là trong nền trầm tích hiện đại. Nhóm loài *Aulacoseira* thường tìm thấy trong môi trường nước chua và nhiều hàm lượng chất lơ lửng [25]. Số lượng mảnh vỏ của nhóm khuê tảo này tăng mạnh trong tầng trầm tích từ 0–30 cm, đã cho thấy môi trường càng gần đây thì càng bị khuấy động. Trong môi trường đã có nhiều chất lơ lửng bị giữ lại trong cột nước làm cho nước rất đục nên nhóm *Aulacoseira* này dễ phát triển hơn so với những nhóm loài khuê tảo khác. Nguyên nhân nước bị vẩn đục có thể là do một khối lượng nước quá lớn, kéo theo các chất hữu cơ/ vô cơ trên sàn rừng đổ vào hồ làm cho môi trường bị xáo trộn [26]. Hơn nữa, giống *Aulacoseira* là loài bản địa thường được tìm thấy trong quần xã phiêu sinh ở sông Mekong, do đó, nhóm *Aulacoseira* chiếm ưu thế trong quần xã phiêu sinh thực vật tại vùng hồ và là kết quả của một lượng chất hữu cơ cực lớn từ sông Mekong thông qua nhịp lũ đổ vào hồ [2].

Các nghiên cứu trước đây cho thấy nồng độ các chất dinh dưỡng cao trong cột nước có thể làm tăng



độ phong phú và độ giàu loài các nhóm khuê tảo trong nền trầm tích. Loài *Paralia sulcata* thường xuất hiện ở ngoài biển và trong môi trường trầm tích giàu chất dinh dưỡng, đặc biệt hàm lượng nitrogen do các hoạt động của con người gây ra [27]. Trong khi loài *Thalassiosira bramaputrae* (Ehrenberg) Hak. & Locker [đồng danh: *T. lacustris* (Grunow) Hasle; *Coscinodiscus lacustris* Grunow] được phát hiện thấy trong nền trầm tích tại cửa sông Tonle Sap đổ vào hồ. Sự hiện diện của hai loài khuê tảo có môi trường đặc biệt này là bằng chứng rõ ràng cho thấy có sự hiện diện của dòng chảy nước lợ - mặn lấn về phía hồ [2]. Hay trong đoạn trầm tích hồ trước khi có ảnh hưởng của lũ (lỗi TLS 6, đoạn 106,5–123,5 cm) đã tìm thấy loài *Thalassionema nitzschioides*. Đây là loài có giới hạn sinh thái rộng, thuộc nhóm phiêu sinh sống ven bờ, ưa thích trong môi trường nước lợ - mặn. Đặc biệt, đây là loài chỉ thị cho môi trường giàu chất dinh dưỡng và độ mặn thấp [28]. Điều này đã thể hiện cho thấy hồ Tonle Sap trước đây cũng đã bị ảnh hưởng bởi sự xâm nhiễm nguồn nước lợ từ vùng cửa sông chảy ngược lên theo dòng triều trên sông Mekong. Sự xâm nhiễm này vốn đã có từ trước giai đoạn ảnh hưởng lũ, nhưng tần suất xuất hiện gần đây có nhiều hơn, chứng tỏ vấn đề xâm nhiễm có thể đã diễn ra thường xuyên hơn. Do đó có sự trao đổi nước với bên ngoài thông qua sông Mekong, góp phần làm tăng sự hiện diện của những loài khuê tảo chịu mặn ở trong hồ, hoặc có thể do vỏ của những loài khuê tảo này lắng đọng trong trầm tích đã được tái vận động theo dòng chảy và đưa vào hồ theo dòng lũ. Sự hiện diện của phần hoa rình ngập mặn trong nền trầm tích ở Biển Hồ cũng đã cho thấy dòng chảy bị ảnh hưởng bởi thủy triều trong mùa cạn [2]. Bên cạnh đó, trong môi trường hồ có sự xuất hiện của những nhóm khuê tảo phiêu sinh và sống bám trong môi trường nước mặn như *Odontella rhombus*, *Tryblionella navicularis*, *Thalassiosira* spp., v.v.. là một bằng chứng rõ nét cho thấy hồ có ảnh hưởng xâm nhiễm mặn. Tuy vậy, từ nhóm khuê tảo hóa thạch tìm thấy trong nền trầm tích cho thấy nhóm khuê tảo sống trong môi trường nước ngọt là luôn chiếm đa số.

Lũ theo nhịp hàng năm đều gây ra những xáo trộn đáng kể trong môi trường nước hồ, từ độ đục tới chất dinh dưỡng và tác động tới quần xã khuê tảo. Như loài *Achnanthydium minutissimum* là loài chiếm ưu thế trong môi trường bị xáo trộn, đặc biệt là cường độ lũ cao [29]. Hay nhóm loài *Discotella* spp. có thể phát triển trong điều kiện dinh dưỡng từ nghèo đến giàu, do vậy chúng có thể thích nghi với môi trường sống mới [30]. Nhóm khuê tảo này hiện diện trong nền trầm tích của lỗi TLS 2 và TLS 6 có ảnh hưởng lũ, cũng như trong nền trầm tích thường xuyên bị xáo trộn (TLS 1).

Ngoài ra, có một số nhóm khuê tảo có liên quan rất rõ với giai đoạn môi trường có lũ. Một số nhóm loài khuê tảo chỉ thị cho dòng chảy của lũ mạnh (*Cymbella microcephala*, *Gomphonema angustum*, *G. gracile*, *Nitzschia fonticola*, *Rhopalodia gibba*); nhóm loài khuê tảo chỉ thị cho mức lũ trung bình (*A. minutissimum*, *Cocconeis placentula*, *Gomphonema parvulum*, *Epithemia adnata*, *Nitzschia paleacea*, *Navicula radiosa*); lũ yếu (*Craticula halophila*, *Epithemia turgida*, *Navicula cryptocephala*); mức lũ kém (*Cocconeis placentula*, *Gomphonema clavatum*, *Navicula minima*, *Nitzschia palea*) [20]. Khi dòng lũ quét qua một vùng nào đó thì một số loài khuê tảo có cấu trúc hình thái gắn kết chặt chẽ và có kiểu bờ trườn (như *Achnanthydium minutissimum* và *Cocconeis placentula*) sẽ bị đánh bật ra khỏi thể khảm của chúng. Sau đó, chúng thường bị chết và các mảnh vỡ của vỏ sẽ tập trung nhiều trong những lưu vực có dòng chảy hơi mạnh [29]. Hơn nữa, hình dạng hay cấu trúc bên ngoài của mảnh vỏ khuê tảo cho thấy khả năng kháng cự lại với sự xáo trộn của môi trường như: loài *Navicula* và *Nitzschia* có sự gắn kết lỏng lẻo nên thường bị tách rời khỏi giá thể bám và trôi giạt theo dòng chảy [26]. Nhóm *Navicula* và *Nitzschia* thường có khả năng di chuyển nhanh sau khi có lũ [20].

Nhìn chung, khuê tảo có khả năng kháng cự và mau phục hồi với sự xáo trộn của môi trường cao hơn so với tảo lục và vi khuẩn lam bởi vì chúng có khả năng phục hồi, sản sinh ra sản lượng lớn, thời gian

tạo ra thể hệ mới ngắn, kích thước nhỏ [29]. Các quần xã khuê tảo bám có khả năng thích ứng nhanh, hơn là chống chịu với lũ, và thường có khả năng tạo thành những tập đoàn hay phân bố rời rạc để dễ thích ứng với môi trường [20]. Khi gặp môi trường thuận lợi, chúng sẽ phát triển nhanh, mang lại sinh khối lớn, nhưng nếu gặp môi trường bất lợi thì chúng chỉ có thể tồn tại trong một thời gian rất ngắn và chết, lưu lại các mảnh vỏ hóa thạch theo thời gian.

Nếu xem cả đoạn trầm tích trong lõi TLS 1 được hình thành trong thời gian ngắn và diễn ra gần đây thì sự dao động lớn về mật độ và thành phần loài khuê tảo hóa thạch, thậm chí xác định không có mảnh vỏ khuê tảo ở các độ sâu khác nhau (54–58, 78–82, 90–106 và 114–122 cm) cho thấy trong giai đoạn mà môi trường ở vị trí này có ảnh hưởng lũ đến từ sông Mekong thì vẫn có những xáo trộn nhất định đã xảy ra. Giả thiết đặt ra có thể là diễn biến và quy mô lũ không đều, và thậm chí có những đợt lũ quét cục bộ mang vật liệu trầm tích đến từ các vùng địa hình cao–

thường khô hạn, gây lắng đọng và gián đoạn sự hiện diện của nhóm phiêu sinh, vốn cần có cho môi trường nước được duy trì khá thường xuyên.

#### KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu phân bố khuê tảo hóa thạch trong trầm tích cho phép tái thiết lập diễn biến thay đổi tính chất môi trường thủy vực hồ Tonle Sap theo không gian và trật tự thời gian có liên quan đến lũ trong hệ thống dòng chảy. Hơn nữa, nghiên cứu này cho thấy môi trường lưu vực nước hồ Tonle Sap có mối liên kết chặt chẽ với dòng chảy sông Mekong. Ảnh hưởng của sự xáo trộn dòng chảy từ Mekong cũng như sự xâm nhiễm mặn từ hạ du đã góp phần làm thay đổi tính đa dạng và độ giàu loài của một số loài trong quần xã khuê tảo tại hồ Tonle Sap so với giai đoạn trước đây không có lũ. Sự hiện diện của loài *Achnantheidium minutissimum* đã cho thấy môi trường bị ảnh hưởng lũ ở mức trung bình và sự vùi lấp của nhóm loài *Navicula*, *Nitzschia* báo hiệu cho thấy có dòng chảy cực mạnh đã quét qua vùng hồ.

## Holocene environmental change in Tonle Sap, Cambodia based on fossil diatoms

- Nguyen Thi Gia Hang
- Le Xuan Thuyen

University of Science, VNU-HCM

#### ABSTRACT

*Tonle Sap Lake ("Great Lake", Cambodia) is a biggest inland freshwater body. The size of the lake is changed dynamically following monsoon via connected to the Mekong river, especially the flood pulse. The flood pulse on Tonle Sap has affected considerably the lake's ecological property as well diatom assemblages. The present study aimed to assess the impact of the flood pulse to diatom assemblages by time. Two short sediment cores from Tonle Sap Lake with the depth of 1.54 m and 1.27 m respectively below the lake floor were collected in May 2013 and 2015 and one short sediment core with*

*the depth of 1.68 m was collected from the confluence of the Mekong River and Tonle Sap River in May, 2013. The sedimentations were dated by using radiometric dating ( $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$ ). Succession of fossil diatom assemblages was calculated by Rarefaction index (ES) and species richness is by Hill's  $N_2$  index. A total of 70 diatom species was released, and the diversity of diatom assemblages was extremely fluctuated in function of time ( $p$ -value = 0.0045\*\*\*). Especially, 6 diatom taxa: *Aulacoseira distans*, *Aulacoseira granulata*, *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*, *Gyrosigma acuminatum*,*

*Gyrosigma attenuatum* and *Paralia sulcata* characterized by the highest relative abundance (>1 %). In term of ecology, these species are the epipelagic diatoms living commonly in eutrophication and high suspended solid conditions. In fact, it is clear that the onset of flood pulses affected considerably the studied

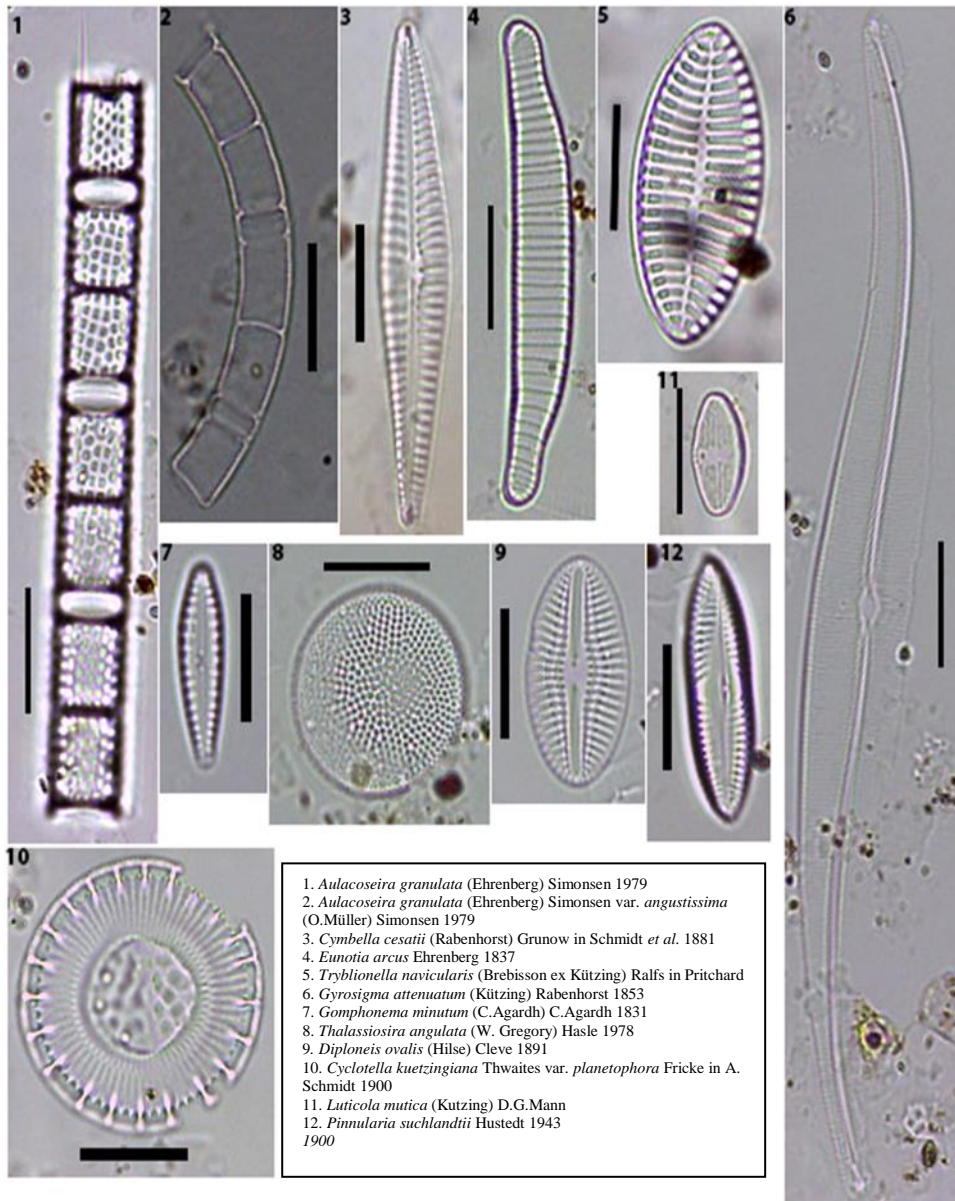
diatom assemblages in particular, and made sense to bio-community in general; also the lacustrine environment of Tonle Sap lake was changed very strongly in response to this shift of hydrological regime.

**Keywords:** Tonle Sap Lake, fossil diatoms, flood flush

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. J.P. Carbonnel, J. Guiscafré, Grand Lac du Cambodge: Sedimentologie et hydrologie, Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, Paris, 1962–1963 (1965).
- [2]. D. Penny, The Holocene history and development of the Tonle Sap, Cambodia, *Quat Sci Rev*, 25, 310–322 (2006).
- [3]. M.B. Day, D.A. Hodell, M. Brenner, J.H. Curtis, G.D. Kamenov, T.P. Guilderson, L.C. Peterson, W.F. Kenney, A.L. Kolata, Middle to late Holocene initiation of the annual flood pulse in Tonle Sap Lake, Cambodia, *J. Paleolimnol.*, 45, 85–99 (2011).
- [4]. Y. Fukomoto, Holocene Climate Changes in East Asia Reconstructed from Boring Sediments in Lakes and Peatlands, Dissertation, Kyushu University, 166 (2014).
- [5]. I. Hendeby, An introductory account of the smaller algae of British coastal waters. Part V: Bacillariophyceae, Fish. Inest Ser IV, Ministr. Agric. Fish and Food, Her Majesty's Stationery Office, London, 317 (1964).
- [6]. R.J. Stevenson, The stimulation and drag of current. In: Stevenson R.J., Bothwell M.L. and Lowe R.L. (eds.) *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystem*, Academic Press, San Diego, California, 321–340 (1996).
- [7]. N.L. Poff and J.V. Ward, Implications of streamflow variability and predictability for lotic community structure: a regional analysis of streamflow patterns, *Can. J. Fish Aquat. Sci.*, 46, 1085–1818 (1989).
- [8]. R.G. Death, Disturbance and riverine benthic communities: what has it contributed to general ecological theory?, *River Res. Appl.*, 26, 15–25 (2010).
- [9]. G.Y. Yang, T. Tang, D. Dudgeon, Spatial and seasonal variations in benthic algal assemblages in streams in monsoonal Hong Kong, *Hydrobiologia*, 632, 189–200 (2009).
- [10]. C.G. Peterson, R.J. Stevenson, Resistance and resilience of lotic algal communities: importance of disturbance timing and current, *Ecology*, 73, 1445–1461 (1992).
- [11]. S. Tsukawaki, Conclusion of TonleSap 21 Programme-Environmental changes and geological developments of Lake Tonle Sap in Cambodia during the last 10,000 years, International Symposium on Environmental Changes of the Great Lake Tonle Sap, Phnom Penh, Ministry of Industry, Mines and Energy, (2002).
- [12]. J.P. Carbonnel, Le Quaternaire Cambodgien: Structure et Stratigraphie, ORSTOM, 243 (1972).
- [13]. P.G. Appleby, Chronostratigraphic techniques in recent sediments. In: Last WM, Smol JP (eds.) *Trachking environmental change using lake sediments volume 1: Basin analysis, coring, and chronolical techniques*. Kluwer, Dordrecht, 171–203 (2001).
- [14]. M. Aiken, Radiocarbon dating. In E. Linda “Archaeological Method and Theory”, New York, Garland Publishing, 505–508 (2003).
- [15]. M.T. Moss, K.R. Laird, B.F. Cumming, Diatom assemblages and water depth in Lake 239 (Experimental Lakes Area, Ontario): a palaeolimnological perspective, *The Holocene*, 19, 359–367 (2005).
- [16]. K. Krammer, H. Lange-Bertalot, Bacillariophyceae 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: Ettl H., Gerloff J., Heynig H. and Mollenhauer D. (eds)

- Süßwasserflora von Mitteleuropa, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 596 (1988).
- [17]. K. Krammer, H. Lange-Bertalot, Bacillariophyceae 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: Ettl H., Gerloff J., Heynig H. and Mollenhauer D. (eds), Süßwasserflora von Mitteleuropa, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 576 (1991a).
- [18]. K. Krammer, H. Lange-Bertalot, Bacillariophyceae 4. Teil: Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema. In: Ettl H., Gärtner G., Gerloff J., Heynig H. and Mollenhauer D. (eds) Süßwasserflora von Mitteleuropa, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 437 (1991b).
- [19]. K-I. Ishii, M. Iwataki, I. Imai, Proposal of identification criteria for resting spores of Chaetoceros species (Bacillariophyceae) from a temperate coastal sea, *Phycologia*, 50, 4, 351–362 (2011).
- [20]. J.A. Wiklund, N. Bozinovski, R.I. Hall, B.B. Wolfe, Epiphytic diatoms as flood indicators, *J. Paleolimnol.*, 44, 25–42 (2010).
- [21]. P. Legendre, L. Legendre, Numerical ecology, Second English Edition, Elsevier, Amsterdam, 1006 (1998).
- [22]. H.J.B. Birks, J.M. Line, The use of rarefaction analysis forestimating palynological richness from the Quaternary pollen-analytical data, *The Holocene*, 2, 1–10 (1992).
- [23]. M.O. Hill, Diversity and evenness: a unifying notion and its consequences, *Ecology*, 54, 427–432 (1973).
- [24]. J.P. Smol, Problems with the use of “species diversity” in paleolimnological studies, *Quaternary Research*, 15, 209–212 (1981).
- [25]. H. van Dam, A. Mertens, J. Sinkeldam, A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands, *J. Aquatic Ecol*, 28, 117–133 (1994).
- [26]. P. Kilham, S.S. Kilham, R.E. Hecky, Hypothesized resource relationships among African planktonic diatoms, *Limnol Oceanogr*, 31, 1169–1181 (1986).
- [27]. Z.H. Liu, X.H. Liu, B. He, J.F. Nie, J.Y. Peng, L. Zhao, Spatio-temporal change of water chemical elements in Lake Dianchi, China, *Water Environ. J.*, 23, 235–244 (2009).
- [28]. J.M. van Iperen, A.J. van Bennekom, T.C.E. van Weering, Diatoms in surface sediments of the Indonesian Archipelago and their relation to hydrography, *Hydrobiologia*, 269–270, 1, 113–118 (1993).
- [29]. F. Schneck, A.S. Melo, Hydrological disturbance overrides the effect of substratum roughness on the resistance and resilience of stream benthic algae, *Freshw. Biol.*, 57, 1678–1688 (2012).
- [30]. V. Houk, R. Klee, H. Tanaka, Atlas of freshwater centric diatoms with a brief key and descriptions part III. In: Poulícková A. (ed.) Stephanodiscaceae A: *Cyclotella*, *Tertiarius*, *Discotella*, *Fottea*, 10 Supplement, 498 (2010).



Tỉ lệ thước :10 µm