

STUDY ON THE NUMBER OF SPECIES AND ORIGINS OF GENUS *PYRULARIA* MICHX. (CERVANTESIACEAE)

Le Chi Toan

Ha Noi Pedagogical University No. 2

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 07/11/2021	<i>Pyrularia</i> is a small parasitic genus of the Cervantesiaceae with two to five species exhibiting in a well-known classical intercontinental disjunct distribution between Eastern Asia and Eastern North America. The present study was based on comprehensive taxon sampling of <i>Pyrularia</i> and five DNA regions including three chloroplasts (<i>matK</i> , <i>rbcL</i> , <i>trnLF</i>) and two nuclear ones ((small subunit ribosomal DNA (SSU rDNA), large subunit ribosomal DNA (LSU rDNA)) to clarify the phylogeny and historical biogeography of <i>Pyrularia</i> . Results of the study supported that <i>Pyrularia</i> in Eastern Asia (including <i>P. edulis</i> , <i>P. sinensis</i> , <i>P. bullata</i> and <i>P. inermis</i>) may best be treated as a single species, <i>P. edulis</i> . The genus <i>Pyrularia</i> includes two species <i>P. pubera</i> in Eastern North America and <i>P. edulis</i> in Eastern Asia. Results of molecular dating and historical biogeography indicated that <i>Pyrularia</i> was originated in Africa and then dispersed to Asia, and subsequently to North America via the Bering land bridge, resulting in the current intercontinental Eastern Asia and Eastern North America distribution of <i>Pyrularia</i> .
Revised: 12/01/2021	
Published: 19/01/2021	
KEYWORDS	
Cervantesiaceae	
<i>Pyrularia</i>	
Phylogeny	
Historical biogeography	
Africa	
Intercontinental Eastern Asia and Eastern North America	

NGHIÊN CỨU SỐ LƯỢNG LOÀI VÀ NGUỒN GỐC PHÁT SINH CỦA CHI *PYRULARIA* MICHX. (CERVANTESIACEAE)

Lê Chí Toàn

Trường Đại học Sư phạm Hà Nội 2

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 07/11/2021	<i>Pyrularia</i> là một chi nhỏ trong họ Cervantesiaceae, bao gồm từ hai đến năm loài và có sự phân bố không liên tục ở liên lục địa giữa Đông Á và Đông Bắc Mỹ. Nghiên cứu dựa trên việc lấy mẫu tối ưu cho <i>Pyrularia</i> và sử dụng 5 gen bao gồm: 3 gen lục lạp (<i>matK</i> , <i>rbcL</i> , <i>trnLF</i>) và 2 gen nhân (small subunit ribosomal DNA (SSU rDNA), large subunit ribosomal DNA (LSU rDNA)) nhằm tiến hành đánh giá mối quan hệ phát sinh của các mẫu <i>Pyrularia</i> , cũng như phân tích lịch sử địa lý sinh vật của chi này. Kết quả của nghiên cứu ủng hộ đề xuất hợp nhất tất cả các loài ở Đông Á của <i>Pyrularia</i> bao gồm <i>P. edulis</i> , <i>P. sinensis</i> , <i>P. bullata</i> và <i>P. inermis</i> thành một loài duy nhất là <i>P. edulis</i> . Chi <i>Pyrularia</i> bao gồm hai loài là <i>P. pubera</i> phân bố ở Đông Bắc Mỹ và <i>P. edulis</i> phân bố ở Đông Á. Ngoài ra, kết quả phân tích về thời gian phát sinh, lịch sử địa lý sinh vật, sự phân bố của <i>Pyrularia</i> đã đưa ra giả thuyết rằng, tổ tiên của <i>Pyrularia</i> được hình thành ở châu Phi, sau đó đã phát tán đến châu Á và tiếp tục đến Bắc Mỹ thông qua “cầu đất” trên biển Bering và hình thành nên sự phân bố liên lục địa Đông Á - Đông Bắc Mỹ như hiện nay của <i>Pyrularia</i> .
Ngày hoàn thiện: 12/01/2021	
Ngày đăng: 19/01/2021	
TỪ KHÓA	
Cervantesiaceae	
<i>Pyrularia</i>	
Phát sinh loài phân tử	
Lịch sử địa lý sinh vật	
Châu Phi	
Liên lục địa Đông Á - Đông Bắc Mỹ	

Email: Lechitoan@hpu2.edu.vn

1. Mở đầu

Họ Đàn hương (Santalaceae) là một thành viên lớn trong bộ Đàn hương (Santalales). Hiện nay, họ Đàn hương có khoảng 44 chi với 900 loài tập trung phân bố ở vùng ôn đới và nhiệt đới trên toàn thế giới [1]-[3]. Một số loài trong họ Đàn hương có giá trị kinh tế, ví dụ như: *Santalum album* được sử dụng để chiết xuất tinh dầu trong sản xuất nước hoa; củ của một số loài *Arjona* được dùng làm thức ăn đối với người dân ở miền Nam Chile [3].

Mối quan hệ phát sinh bên trong họ Đàn hương được tiến hành nghiên cứu bởi Le [2], Le và cộng sự [3], Der và Nickrent [4], Nickrent và cộng sự [5], Su và cộng sự [6]. Nickrent và cộng sự [5] đã công bố một sắp xếp phân loại cho bộ Đàn hương “a revised classification of Santalales”, trong đó các tác giả đã thành lập bốn họ mới từ các thành viên trước đây của họ Đàn hương là Amphorogynaceae, Cervantesiaceae, Comandraceae và Nanodeaceae.

Cervantesiaceae được Nickrent và cộng sự thành lập với tám chi, trong đó bao gồm *Pyrularia* Michx [5]. Tam [7] ghi nhận 04 loài cho chi *Pyrularia*, bao gồm *P. edulis* (Wall.) A. DC., *P. sinensis* Y.C.Wu., *P. inermis* S.S.Chien, *P. bullata* P.C.Tam ở Trung Quốc và châu Á, và chỉ 01 loài *P. pubera* Michx. cho Đông Bắc Mỹ. Tuy nhiên, Xia và Gilbert [8] chỉ ghi nhận 01 loài *P. edulis* cho hệ thực vật Trung Quốc và châu Á; và 01 loài *P. pubera* cho hệ thực vật Đông Bắc Mỹ.

Lê Chí Toàn và cộng sự tái xây dựng cây phát sinh loài cho họ Đàn hương Santalaceae [3]. Kết quả của nghiên cứu này chỉ ra rằng mối quan hệ phát sinh giữa các loài trong chi *Pyrularia* là chưa rõ ràng, đặc biệt là việc xác định số lượng loài của chi này ở châu Á. Tác giả cũng đề xuất rằng, nghiên cứu trong tương lai bằng việc tập trung lấy mẫu nhiều cho chi này có thể giúp làm sáng tỏ số lượng loài của chi này. Hơn nữa, một phân tích chuyên sâu về nguồn gốc phát sinh sẽ giúp làm sáng tỏ lịch sử tiến hóa của chi *Pyrularia* trên toàn thế giới. Hơn nữa, sẽ làm rõ “con đường” phân bố để hình thành sự phân bố các loài của *Pyrularia* như hiện nay.

Nghiên cứu này, dựa trên sự nâng cao đáng kể về mẫu vật nghiên cứu của *Pyrularia*, nhằm: (1) xác định rõ số lượng loài của *Pyrularia* trên thế giới dựa trên dữ liệu phân tử và hình thái; (2) tái hiện lịch sử tiến hóa, phân bố của chi *Pyrularia*.

2. Vật liệu, phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng 81 loài (106 mẫu) thực vật của Santalales kết hợp với 05 gen bao gồm: 03 gen lục lạp (*matK*, *rbcL*, *trnLF*) và 02 gen nhân (small subunit ribosomal DNA (SSU rDNA), large subunit ribosomal DNA (LSU rDNA)) cho việc xây dựng dữ liệu phân tử. Các gen và môi trường nghiên cứu này được thiết kế theo các nghiên cứu trước đây [2]-[4]. Trong 106 mẫu nghiên cứu, có 26 mẫu của chi *Pyrularia*, 14 mẫu của Opiliaceae, Loranthaceae và Misodendraceae được sử dụng làm đối chứng.

Chất lượng của các trình tự gen được kiểm tra bằng sử dụng công cụ BLAST trên Genbank (NCBI). Việc sắp xếp và xử lý giống hàng (alignment) cho khối dữ liệu phân tử được tiến hành trên phần mềm Geneious 8.0.5 [9].

2.2. Phân tích xây dựng cây phát sinh loài phân tử

Hai phương pháp xây dựng cây phát sinh có độ tin cậy cao và phổ biến hiện nay là maximum likelihood (ML) và Bayesian inference (BI) đều được sử dụng để xây dựng cây phát sinh cho họ Đàn hương và chi *Pyrularia*. Phân tích ML được thực hiện sử dụng chương trình RAxML 8.2.10 [10], [11] với mô hình chạy tốt nhất là GTR + I + G model cho khối dữ liệu phân tử được xác định từ phần mềm jModelTest 2.1.6 [12]. Chương trình được chạy trực tuyến tại “Cổng thông tin CIPRES” thuộc dự án nghiên cứu phát sinh loài do Quỹ Khoa học tự nhiên Hoa Kỳ tài trợ. Chỉ số ủng hộ (bootstrap) của phân tích ML được thực hiện với 1000 lần lặp lại. Trong khi đó, phương pháp Bayesian inference được tiến hành trong phần mềm MrBayses 3.1.2 [13] với mô hình chạy tốt nhất giống với phương pháp ML là GTR + I + G model. Thuật toán MCMC (Markov chain

Monte Carlo) của phân tích BI được cài đặt để chạy trong 10.000.000 thế hệ và mỗi một cây phát sinh được chọn sau 1000 thế hệ khác nhau. Phần mềm Tracer 1.6 [14], sẽ được sử dụng để kiểm tra mức độ ảnh hưởng và chất lượng của cây phát sinh sau khi phân tích kết thúc với tất cả các thông số cần phải lớn hơn 200. Trong số 10.000 cây phát sinh được tạo ra sau phân tích, 2500 cây đầu tiên tương ứng 25% sẽ được loại bỏ [2], [3], [15]-[17]. Cuối cùng, cây phát sinh phù hợp nhất cùng với chỉ số ủng hộ (posterior probabilities (PP)) được xác định và được đọc bằng Figtree 1.4.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Mối quan hệ phát sinh và số lượng loài của *Pyrularia*

Cây phát sinh loài của họ Đàn hương và *Pyrularia* được trình bày ở Hình 1, kết quả từ phân tích phát sinh loài ML và BI cho kết quả tương đồng cao, các nhánh trên cây đều nhận được sự ủng hộ tốt từ dữ liệu phân tử.

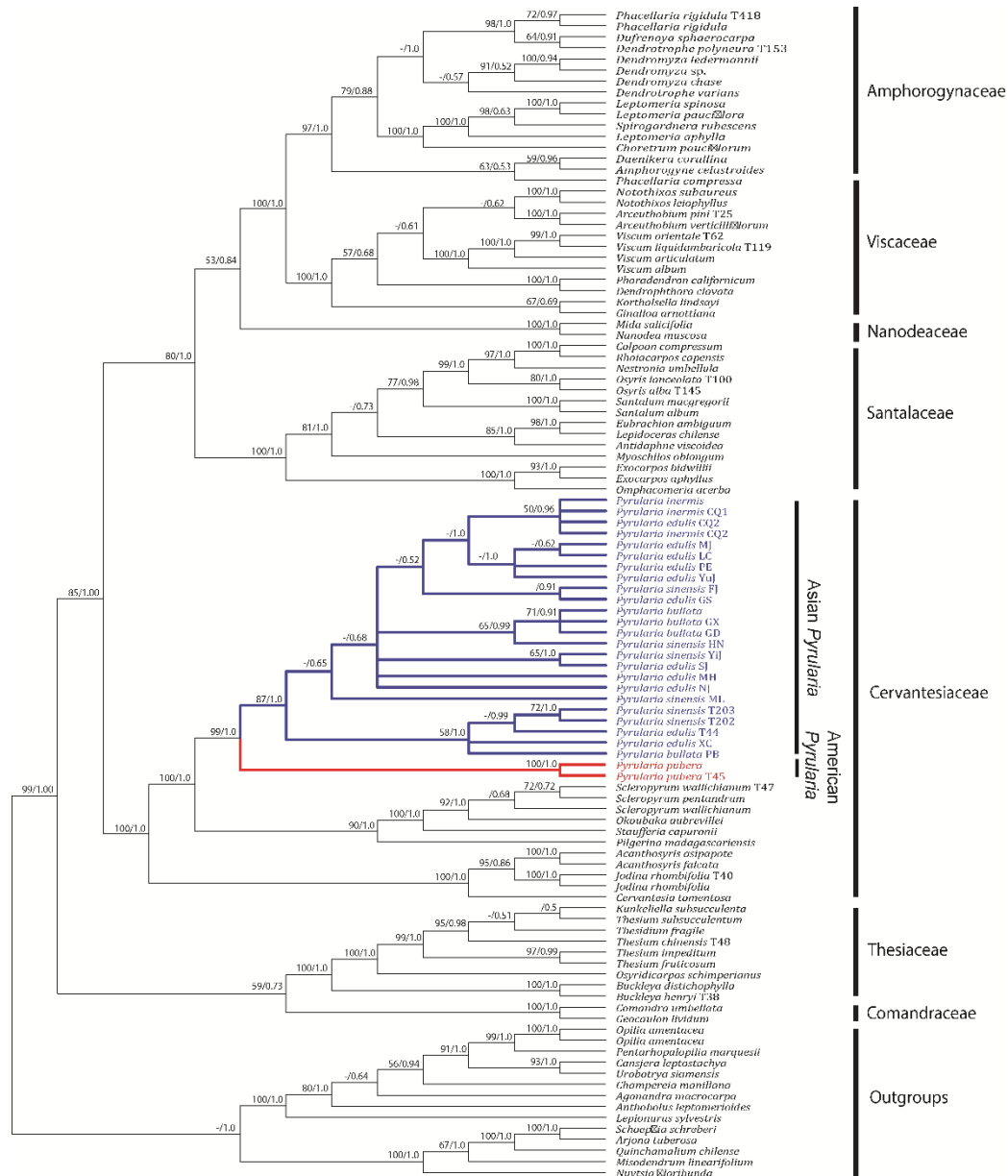
Bảy họ bao gồm Thesiaceae, Comandraceae, Cervantesiaceae, Nanodeaceae, Santalaceae, Viscaceae, Amphorogynaceae được ghi nhận trên cây phát sinh (Hình 1). Tất cả bảy họ trên đều được ghi nhận là đơn phát sinh (monophyletic) với chỉ số ủng hộ cao (ML BS = 100%, PP = 1.0). Kết quả này là phù hợp và tương đồng các kết quả của các nghiên cứu trước đây như [3], [5], [6].

Họ Cervantesiaceae được thành lập bởi Nickrent và cộng sự [3] với tám chi là *Acanthosyrus* (ba loài), *Cervantesia* (bốn loài), *Jodina* (một loài), *Okoubaka* (hai loài), *Pilgerina* (một loài), *Pyrularia* (ba loài, một loài ở Đông Nam Hoa Kỳ và hai loài ở Trung Quốc và châu Á), *Scleropyrum* (sáu loài), *Staufferia* (một loài). Kết quả phân tích của chúng tôi ủng hộ mạnh mẽ *Pyrularia* là nhóm đơn phát sinh với hai nhánh phát sinh tương ứng với *P. pubera* từ Đông Bắc Mỹ và *Pyrularia* từ Đông Á. *Pyrularia* có thể được phân biệt với các chi khác trong Cervantesiaceae bởi đặc điểm hình thái đặc trưng như cây bụi hoặc gỗ nhỏ cao từ 3 - 5 m, lá bắc sớm rụng, quả hạch giả và có đĩa lõm ở đỉnh quả.

Pyrularia được ghi nhận bao gồm hai đến năm loài tùy theo các quan điểm sắp xếp phân loại [1], [5], [7], [8], [18]. Các loài của *Pyrularia* bao gồm *P. pubera* loài đặc hữu của hệ thực vật Đông Bắc Mỹ và một đến bốn loài đặc hữu của hệ thực vật Đông Á [1], [5], [7], [8].

Kết quả phân tích dữ liệu phân tử của chúng tôi ủng hộ loài *P. pubera* từ Đông Bắc Mỹ có quan hệ rất gần gũi và nằm trên một nhánh khác biệt rõ ràng so với các mẫu của Đông Á (Hình 1). Loài *P. pubera* có sự khác biệt so với đối tác của nó ở Đông Á như cây bụi nhỏ hơn 3 m (so với cây thường cao hơn 3 m) [1], [8], phiến lá hẹp hơn nhưng dài hơn, quả nhỏ và ngắn hơn so với quả của các thành viên ở Đông Á, cả hai mặt của lá có lông khi trưởng thành (so với chỉ có mặt dưới có lông và mặt trên nhẵn ở các loài Đông Á).

Trong khi đó các mẫu của Đông Á bao gồm bốn loài *P. edulis*, *P. sinensis*, *P. inermis* và *P. bullata* nằm trên hai nhánh còn lại trong *Pyrularia*. Tuy nhiên kết quả bất ngờ và thú vị nhất đó là cả bốn loài trên đều không được ủng hộ là đơn phát sinh và chúng nằm lẫn vào nhau (Hình 1). Các phân tích đặc điểm hình thái của cả bốn loài trên chỉ ra rằng chúng rất giống nhau và chỉ tồn tại một số ít đặc điểm khác biệt như *P. bullata* và *P. inermis* dường như là một vì: (1) cả hai loài nằm trên nhánh khác nhau và đều không phải là phát sinh đơn ngành; (2) trình tự gen của cả hai loài là rất giống nhau; (3) các đặc điểm hình thái có sự khác biệt nhỏ và các đặc điểm này là không chắc chắn để sử dụng nhằm phân biệt hai loài này ngoài tự nhiên. Trong khi đó, các đặc điểm để xác định *P. sinensis* là chồi nhẵn, không lông, lá hình elip, quả gần như hình cầu. Chồi của *P. sinensis* khá là mịn so với các loài ở Đông Á khác, nhưng các cạnh của vảy chồi vẫn vàng và có lông nhung. Ngoài ra, *P. sinensis* có lá ngắn hơn và cuống quả lại dài hơn so với *P. edulis* [3], tuy vậy, khoảng dao động chiều dài lá thực tế của *P. edulis* là rất rộng (5,8 - 17 cm) [7], [8]; do đó kích thước lá của cả hai loài là tương đồng. Hơn nữa, chiều dài cuống quả giữa hai loài chỉ khác biệt trong khoảng 2 mm, điều này chỉ quan sát được khi tiến hành phân tích trong phòng tiêu bản, và không có sự khác biệt ở ngoài thực địa. Các sự khác biệt trình bày ở trên thể hiện rằng kích thước lá hay chiều dài cuống quả là không đáng tin cậy để phân định loài của *Pyrularia*.



Hình 1. Cây phát sinh loài của họ Đàn hương và *Pyralia* từ phương pháp Bayesian inference sử dụng dữ liệu phân tử kết hợp của 05 gen. Chỉ số ủng hộ của ML và BI được trình bày trên các nhánh của cây, các chỉ số nhỏ hơn 50% được thể hiện bằng “-”.

Xét về vị trí phân bố các loài ở Đông Á, chúng có sự phân bố rất gần và chồng chéo nhau trong đó *P. edulis* phân bố rộng ở Đông Á như Trung Quốc, Nepal, Bhutan, Sikkim và India; ba loài còn lại tập trung phân bố ở Trung Quốc gồm *P. sinensis* (Tứ Xuyên, Vân Nam, Quảng Tây, Hồ Nam, Giang Tây và Quảng Đông), *P. bullata* (Quảng Tây, Quảng Đông và Vân Nam), *P. inermis* (Trùng Khánh) [7], [8].

Vì vậy, xem xét về sự biến đổi hình thái, sự phân bố chồng chéo và bằng chứng phân tử thì sắp xếp tốt nhất cho tất cả các loài ở Đông Á đó là chúng nên được hợp nhất thành một loài duy nhất. Hơn nữa, quan điểm này cũng phù hợp và tương đồng với Xia [19], Xia và Gilbert [8].

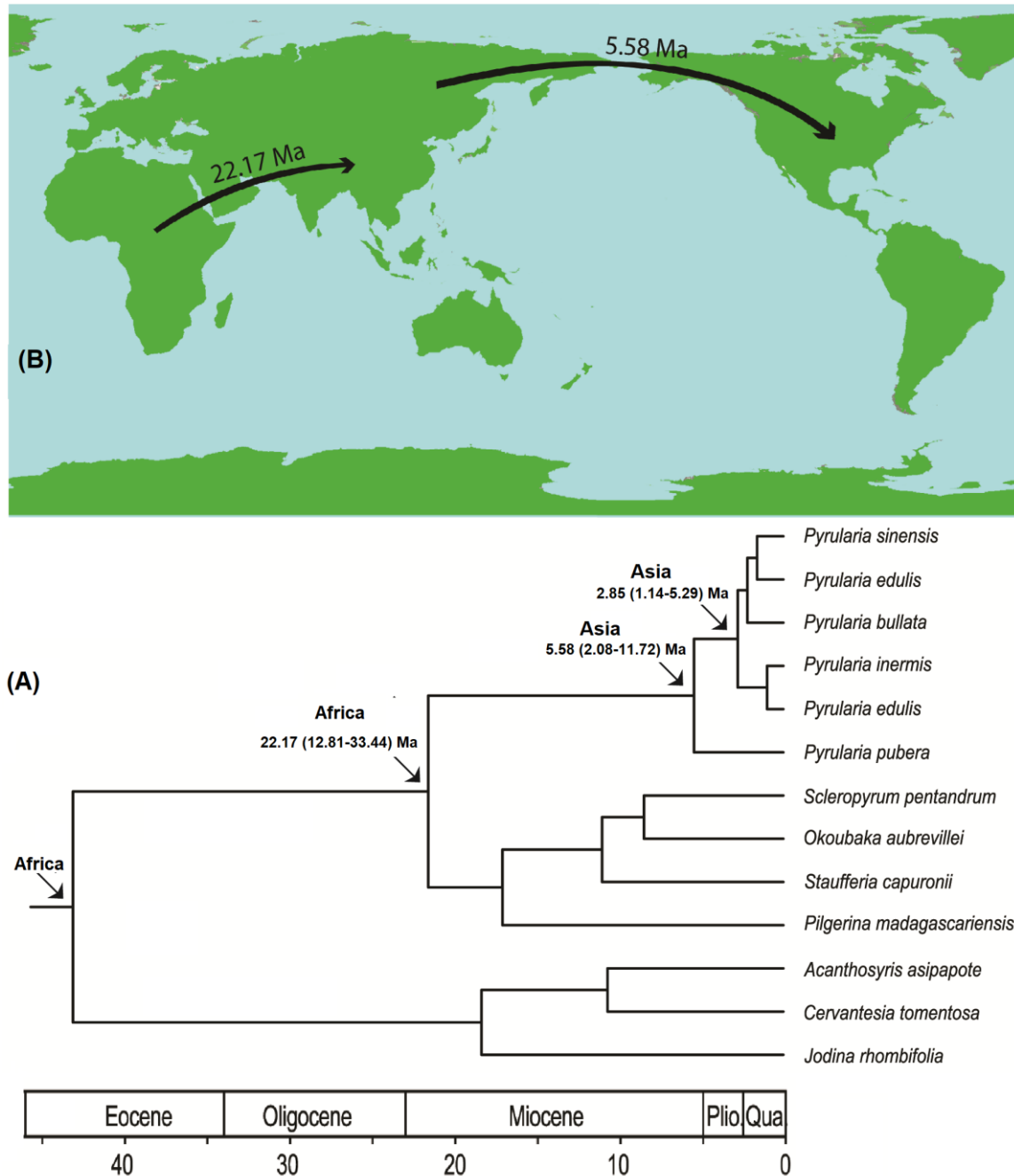
3.2. Nguồn gốc phát sinh của *Pyrularia*

Zhou và cộng sự đã ước lượng thời gian hình thành tổ tiên gần nhất của chi *Pyrularia* là khoảng 22,17 triệu năm trước (Ma) trong đầu thế Trung Tân (Miocene)[20] (Hình 2). Theo kết quả của phân tích lịch sử địa lý sinh vật thì tổ tiên của chi được hình thành tại châu Phi vào khoảng đầu thế Trung Tân, sau đó *Pyrularia* phát tán liên tiếp đến châu Á và Bắc Mỹ khoảng 5,58 Ma, dẫn đến việc phân bố giống như ngày nay của *Pyrularia* (Hình 2).

Sự phát tán liên lục địa giữa châu Á và châu Phi của thực vật thường có ba giả thuyết chính khác nhau được sử dụng để giải thích sự phát tán dựa trên thời gian phát sinh trong các thời kỳ địa chất khác nhau của trái đất [16], [21]-[23]. (1) Giả thuyết về sự di cư nhiệt đới “the Borneotropical migration hypothesis” [16], [24]: Giả thuyết này cho rằng phạm vi của rừng nhiệt đới được mở rộng từ châu Âu đến Nam Á và đạt cực đại vào thời điểm khí hậu tối ưu trên trái đất khoảng 50-52 Ma [25]. Các cuộc di cư nhiệt đới tạo điều kiện cho sự trao đổi sinh học giữa các quần thể sinh vật nhiệt đới thuộc vùng nằm trong vĩ độ trung bình ở Bắc Bán cầu và các siêu rừng nhiệt đới ở vùng xích đạo đặc biệt là châu Phi và châu Á theo cả hai chiều nhờ các vùng đất nối các mảnh của siêu lục địa Laurasian. Giả thuyết này đã được sử dụng để giải thích sự phát tán giữa châu Á và châu Phi cho một số họ thực vật hạt kín [26], [27]. Tuy nhiên thời điểm mở rộng của rừng nhiệt đới là không trùng với thời gian phát tán từ châu Phi tới châu Á của *Purularia* khoảng 22,17 Ma. (2) Giả thuyết thứ hai là di cư trên đất liền qua dải Ả Rập trong giai đoạn Miocene “The Miocene overland migration via land bridges Arabia” [16], [21]: Giả thuyết này cho rằng sự phát tán từ châu Phi đến châu Á qua bán đảo Ả Rập có thể khả thi đối với thực vật nhiệt đới trong thời kỳ đầu đến giữa Miocene khoảng 20 Ma, dựa vào sự va chạm của mảng châu Phi - Ả Rập với châu Á và một giai đoạn ấm lên trong khí hậu tối ưu khoảng 17-15 Ma [21], [25]. (3) Giả thuyết cuối cùng, sự phát tán đường dài xuyên đại dương nhờ động vật, gió hoặc dòng chảy đại dương [16]. Tuy nhiên giả thuyết này thường sử dụng cho các trường hợp có thời điểm phát sinh gần đây [20].

Kết quả phân tích thời gian phát sinh ước tính rằng sự phát tán từ châu Phi sang châu Á của *Purularia* là 22,17 Ma và có sự dao động trong khoảng 12,81 - 33,44 Ma (Hình 2). Giả thuyết thứ nhất về sự di cư nhiệt đới và giả thuyết thứ 3 về sự phát tán đường dài xuyên đại dương dường như không hợp lý khi áp dụng cho trường hợp của *Pyrularia* do không trùng khớp về thời gian. Giả thuyết thứ 2 di cư trên đất liền qua dải Ả Rập trong giai đoạn Miocene dường như là khả thi hơn cả đối với *Pyrularia*. Khoảng 20 Ma, sự va chạm giữa mảng châu Phi - Ả Rập với mảng Iran và Anatolia cùng với sự thu hẹp và biến mất dần của biển Tethys (Tethys sea) đã cho phép kết nối đất liền và hình thành cầu nối giữa châu Phi và Tây Nam Á. Những sự kiện địa chất này trùng hợp với thời kỳ ấm lên đỉnh điểm trong giai đoạn khí hậu tối ưu giữa Miocene, đã tạo điều kiện cho sự trao đổi sinh vật rộng rãi giữa châu Phi và châu Á trên bán đảo Ả Rập [21].

Kết quả phân tích chỉ ra rằng, tổ tiên của *Pyrularia* được hình thành ở châu Phi sau đó phát tán đến châu Á và từ đây phát tán sang Bắc Mỹ khoảng 5,58 Ma.



Hình 2. (A). Cây thời gian phát sinh và lịch sử địa lý sinh vật của *Pyrularia*;
(B). Giả thuyết lịch sử tiến hóa và con đường phát tán của *Pyrularia*

Có thể nói rằng, sự cách biệt về địa lý ở thực vật ký sinh là có liên hệ với lịch sử địa lý sinh vật của vật chủ ký sinh của chúng. *Pyrularia* thường được quan sát thấy ký sinh trên các thành viên của họ Dẻ (Fagaceae) đặc biệt trên *Cyclobalanopsis* Oerst, *Castanopsis* (D.Don) Spach, *Quercus* L., và một số chi của các họ khác như *Carpinus* L., *Liriodendron* L., *Magnolia* L [28]. Rất nhiều loài trong số các chi kể trên được tìm thấy ở Đông Á và Đông Bắc Mỹ [29]. Hơn nữa, các cây chủ ký sinh này như *Tsuga* (Endl.) Carrière có thời gian phát sinh và bùng nổ đa dạng

sớm hơn thời gian của *Pyrularia* khoảng 31,43 Ma [30]. Ngược lại các loài khác có thời gian phát sinh và đa dạng tương tự với *Pyrularia* như *Liriodendron* khoảng 14,15 Ma [31], *Sassafras* 13,8 Ma [32], *Rytidospermum* Spach 10,57 Ma [31].

Pyrularia có khả năng ký sinh gần như với mọi rễ cây khác lân cận, sự phân ly địa lý của *Pyrularia* có thể không liên quan đến một hoặc nhiều cây chủ ký sinh cụ thể, nhưng có thể là kết quả của một phản ứng tương ứng với các sự kiện khí hậu từ giữa cho đến cuối Miocene và kéo dài đến Messinian cùng với nhiều vật chủ có thể có từ các khu rừng trung sinh.

Sự phát tán liên lục địa từ châu Á sang Bắc Mỹ trong khoảng 5,58 Ma có thể được giải thích bằng giả thuyết di cư xuyên Thái Bình Dương nhờ các “cầu đất” trên biển Bering “The trans-Pacific migration via the Bering land bridge”. Các dải đảo trên biển Bering xuất hiện trong thời kỳ Neogene giúp sự trao đổi sinh vật xuyên Thái Bình Dương đến khoảng 3,5 Ma. *Pyrularia* rất có thể đã di cư vào Bắc Mỹ qua “cầu đất” trên biển Bering. Đặc biệt, nghiên cứu này loại trừ khả năng phát tán đường dài “Long-distance dispersal” đối với *Pyrularia* dựa trên hình thái và các đặc điểm khác trên quả của nó. Quả của *Pyrularia* có chứa một loại dầu chất và một số độc tố. Loại quả này độc đối với con người nhưng lại được hươu ở Bắc Mỹ ưa thích [33], [34]. Theo ghi nhận ở Châu Á, chuột là đối tượng tiêu thụ chính, còn thỏ và các loài gặm nhấm khác cũng có thể ăn quả của *Pyrularia* một cách an toàn. Mỗi quả nặng khoảng 10–20 gram và có một hạt tròn có đường kính 2 - 3 cm, do đó nó quá lớn để các loài chim thông thường ở châu Á có thể tiêu hóa được. Hơn nữa, có vẻ như hầu hết các loài động vật ăn quả của *Pyrularia* được báo cáo ở đây đều là những loài phát tán hạt hiệu quả cho *Pyrularia* trong khoảng cách xa qua các đại dương. Nghiên cứu cho thấy, hầu hết các dòng giống của thực vật có hạt giữa Đông Á và Bắc Mỹ đều có một hướng di cư từ châu Á sang châu Mỹ thông qua “cầu đất” trên biển Bering [29]. Trường hợp của *Pyrularia* cũng trùng hợp với giả thuyết di cư khỏi châu Á “Out of Asia”, cho rằng nhiều nhóm thực vật của rừng ôn đới và cận nhiệt đới có nguồn gốc và đa dạng ở Đông Á, sau đó di chuyển ra khỏi châu Á trong suốt 30 triệu năm qua [35].

4. Kết luận

Nghiên cứu dựa trên việc lấy mẫu tối ưu cho *Pyrularia* kết hợp với các phân tích hình thái, địa lý sinh vật ủng hộ đề xuất hợp nhất tất cả các loài ở Đông Á của *Pyrularia* bao gồm *P. edulis*, *P. sinensis*, *P. bullata* và *P. inermis* thành một loài duy nhất là *P. edulis*. Chi *Pyrularia* bao gồm hai loài là *P. pubera* phân bố ở Bắc Mỹ và *P. edulis* phân bố ở Đông Á. Kết quả các phân tích về thời gian phát sinh, lịch sử địa lý sinh vật và chứng minh về nguồn gốc, sự phân bố của *Pyrularia* giả thuyết rằng, tổ tiên của *Pyrularia* được hình thành ở châu Phi, sau đó đã phát tán đến châu Á và tiếp tục đến Bắc Mỹ thông qua “cầu đất” trên biển Bering và hình thành nên sự phân bố liên lục địa Đông Á - Bắc Mỹ hiện nay của *Pyrularia*.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] J. Kuijt, “Santalales,” in *The families and genera of vascular plants Flowering plants: Eudicots; Santalales, Balanophorales*, vol. 12, J. Kuijt and B. Hansen, Eds., Cham, Switzerland: Springer, 2015, pp. 137-141.
- [2] C. T. Le, “Phylogeny biogeography and diversification of Santalales,” PhD. thesis, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, 2018.
- [3] C. T. Le, T. B. Do, T. L. Nguyen, M. A. T. Nguyen, and T. A. Dang, “Exploring the phylogenetic relationship of Santalaceous genera based on intensive molecular data,” *Journal of Biology*, vol. 41, pp. 221-228, 2019.
- [4] J. P. Der, and D. L. Nickrent, “A molecular phylogeny of Santalaceae (Santalales),” *Systematics of Botany*, vol. 33, pp. 107-116, 2008.
- [5] D. L. Nickrent, V. Malécot, R. Vidal-Russell, and J. P. Der, “A revised classification of Santalales,” *Taxon*, vol. 592, pp. 538-558, 2010.

- [6] H. J. Su, J. M. Hu, F. E. Anderson, J. P. Der, and D. L. Nickrent, "Phylogenetic relationships of Santalales with insights into the origins of holoparasitic Balanophoraceae," *Taxon*, vol. 64, pp. 491-506, 2015.
- [7] P. C. Tam, "Santalaceae," in *Flora Reipublicae Popularis Sinicae*, vol. 24, H. S. Kiu and Y. R. Ling, Eds., Beijing: Science Press, 1988, pp. 52-76.
- [8] N. Xia, and M. G. Gilbert, "Santalaceae," in *Flora of China*, vol. 5, Z. Y. Wu, P. H. Raven and D. Y. Hong, Eds., Beijing: Science Press, St. Louis: Missouri Botanical Garden Press, 2003, pp. 208-219.
- [9] A. Drummond, B. Ashton, S. Buxton, M. Cheung, A. Cooper, C. Duran, M. Field, J. Heled, M. Kearse, and S. Markowitz, *Geneious version 5.4*, 2011.
- [10] A. Stamatakis, "RAxML-VI-HPC, maximum likelihood-based phylogenetic analyses with thousands of taxa and mixed models," *Bioinformatics*, vol. 22, pp. 2688-2690, 2006.
- [11] A. Stamatakis, P. Hoover, and J. Rougemont, "A Rapid Bootstrap Algorithm for the RAxML Web Servers," *Systematics Biology*, vol. 57, pp. 758-771, 2008.
- [12] D. Posada, "jModelTest, phylogenetic model averaging," *Molecular Biology and Evolution*, vol. 25, pp. 1253-1256, 2008.
- [13] F. Ronquist, and J. P. Huelsenbeck, "MrBayes 3, Bayesian phylogenetic inference under mixed models," *Bioinformatics*, vol. 19, pp. 1572-1574, 2003.
- [14] A. Rambaut, and A. J. Drummond, "Tracer," version 1.4. 2007.
- [15] C. T. Le, B. Liu, R. L. Barrett, L. M. Lu, J. Wen, and Z. D. Chen, "Phylogeny and a new tribal classification of Opiliaceae (Santalales) based on molecular and morphological evidence," *Journal of Systematics and Evolution*, vol. 56, pp. 56-66, 2018.
- [16] B. Liu, C. T. Le, R. L. Barrett, D. L. Nickrent, Z. D. Chen, L. M. Lu, and R. Vidal-Russell, "Diversification agrees with emergence of tropical forests and radiation of songbirds," *Molecular Phylogenetics and Evolution*, vol. 124, pp. 199-212, 2018.
- [17] C. T. Le, V. D. Nguyen, T. X. Do, D. L. Nickrent, Z. D. Chen, L. M. Lu, and R. Vidal-Russell, "Study on morphology and genetics of *Scurrula chingii* var. *yunnanensis* H. S. Kiu in C. Y. Wu & H. W. Li," *Proceeding of the 4th national scientific conference on biological research and teaching in Vietnam*, 2020, pp. 447-453.
- [18] D. L. Nickrent, "Ximeniaceae, Schoepfiaceae, Comandraceae, Thesiaceae, Cervantesiaceae, Santalaceae, Viscaceae," in *Flora of North America*, vol. 12, Flora of North America Editorial Committee, Ed., New York: Oxford University Press, 2016, pp. 404-440.
- [19] N. H. Xia, "Zhong guo tan xian gke zhi wu ding zheng [Notes on Santalaceae from China]," *Acta phytotax sinica*, vol. 30, pp. 471 - 472, 1992.
- [20] Z. Zhou, J. J. Hu, J. Wen, and H. Sun, "Morphometric, phylogenetic and biogeographic analyses of *Pyralaria* (Santalales), a parasitic disjunct lineage between eastern Asia and eastern North America," *Taxon*, vol. 68, pp. 47-71, 2019.
- [21] L. L. Zhou, Y. C. F. Su, D. C. Thomas, and R. M. K. Saunders, "Out-of-Africa' dispersal of tropical floras during the Miocene climatic optimum: Evidence from *Uvaria* (Annonaceae)," *Journal of Biogeography*, vol. 39, pp. 322-335, 2012.
- [22] D. C. Thomas, L. W. Chatrou, G. W. Stull, D. M. Johnson, D. J. Harris, U. Thongpairoj, and R. M. K. Saunders, "The historical origins of palaeotropical intercontinental disjunctions in the pantropical flowering plant family Annonaceae," *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, vol. 17, pp. 1-16, 2015.
- [23] M. Q. Yang, D. Z. Li, J. Wen, and T. S. Yi, "Phylogeny and biogeography of the amphi-Pacific genus *Aphananthe*," *PLOS ONE*, vol. 12, p. e0171405, 2017.
- [24] A. N. Muellner, V. Savolainen, R. Samuel, and M. W. Chase, "The mahogany family 'out-of-Africa': divergence time estimation, global biogeographic patterns inferred from plastid *rbcl* DNA sequences, extant, and fossil distribution of diversity," *Molecular Biology and Evolution*, vol. 23, pp. 236-250, 2006.
- [25] J. C. Zachos, M. Pagani, L. Sloan, E. Thomas, and K. Billups, "Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present," *Science*, vol. 292, pp. 686-693, 2001.
- [26] C. C. Davis, C. D. Bell, P. W. Fritsch, S. Mathews, "Phylogeny of *Acridocarpus*, *Brachylophon* (Malpighiaceae): implications for tertiary tropical floras and Afro-asian biogeography," *Evolution*, vol. 56, pp. 2395-2405, 2002.

-
- [27] A. Weeks, D. C. Daly, and B. B. Simpson, "The phylogenetic history and biogeography of the frankincense and myrrh family (Burseraceae) based on nuclear and chloroplast sequence data," *Molecular Biology and Evolution*, vol. 35, pp. 85-101, 2005.
- [28] Y. Song, "Study on growth rhythm and oil properties in the wild *Pyrularia edulis* in Badagongshan," Master Thesis, Central South University of Forestry and Technology, Changsha, 2016.
- [29] J. Wen, S. Ickert-Bond, Z. L. Nie, and R. Li, "Timing and modes of evolution of eastern Asian-North American biogeographic disjunctions in seed plants," in *Darwin's heritage today: Proceedings of the Darwin 200 Beijing International Conference*, M. Long, H. Gu, and Z. Zhou, Eds., Beijing: Higher Education Press, 2010, pp. 252-269.
- [30] N. P. Havill, C. S. Campbell, T. F. Vining, B. LePage, R. J. Bayer, and M. J. Donoghue, "Phylogeny and biogeography of *Tsuga* (Pinaceae) inferred from nuclear ribosomal ITS and chloroplast DNA sequence data," *Systematic Botany*, vol. 33, pp. 478-489, 2008.
- [31] Z. L. Nie, J. Wen, and H. Sun, "Phylogeny and biogeography of *Sassafras* (Lauraceae) disjunct between eastern Asia and eastern North America," *Plant Systematics and Evolution*, vol. 267, pp. 191-203, 2007.
- [32] Z. L. Nie, J. Wen, H. Azuma, Y. L. Qiu, H. Sun, Y. Meng, W. B. Sun, and E. A. Zimmer, "Phylogenetic and biogeographic complexity of Magnoliaceae in the Northern Hemisphere inferred from three nuclear data sets," *Molecular Biology and Evolution*, vol. 48, pp. 1027-1040, 2008.
- [33] C. P. Randle, and J. W. Wenzel, "Research note: Deer browsing threatens a locally rare parasitic plant, buffalo nut (*Pyrularia pubera* Michx.)," *Journal of the Pennsylvania Academy of Science*, vol. 88, pp. 231-234, 2014.
- [34] K. D. Coder, *Buffalonut Pyrularia pubera: Tree root parasite*, Athens (GA): Warnell School of Forestry & Natural Resources, University of Georgia, 2016.
- [35] M. J. Donoghue, and S. A. Smith, "Patterns in the assembly of temperate forests around the Northern Hemisphere," *Philosophical Transactions of The Royal Society B*, vol. 359, pp. 1633-1644, 2004.