

MÔ HÌNH KHÍ HẬU KHU VỰC REGCM3 VÀ KHẢ NĂNG DỰ BÁO KHÍ HẬU MÙA KHU VỰC ĐÔNG NAM Á - VIỆT NAM

PGS. TSKH. Kiều Thị Xin, TS. Hồ Thị Minh Hà
Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN

Bài báo này giới thiệu việc ứng dụng mô hình khí hậu khu vực RegCM3 để mô phỏng khí hậu hạn mùa đối với mùa hè các năm từ 1991 đến 2000, qua đó đánh giá khả năng ứng dụng RegCM3 vào dự báo khí hậu hạn mùa khu vực Đông Nam Á - Việt Nam. Do trên khu vực nghiên cứu, các quá trình khí quyển và đại dương nhiệt đới rất phức tạp nên các sơ đồ tham số hóa đối lưu và tính toán thông lượng đại dương – khí quyển đã được lựa chọn thận trọng. Các kết quả nhận được cho thấy mô hình RegCM3 có khả năng tái tạo tốt nhiệt độ bề mặt, đặc biệt sau khi thay thế sơ đồ tham số hóa đối lưu Tiedtke thay cho sơ đồ Grell gốc của RegCM3. Mô hình RegCM3 cũng xác định được các tâm mưa lớn trên khu vực nhưng có xu hướng thấp hơn lượng mưa quan trắc khi sử dụng sơ đồ Grell. Sơ đồ Tiedtke đã cải thiện khả năng xác định vùng mưa trên Bán đảo Đông Dương (BDDD) và Việt Nam nhưng có xu hướng mô phỏng thiên lớn. Việc tổ hợp trung bình lượng mưa tính toán theo hai sơ đồ đem lại phân bố mưa phù hợp hơn với quan trắc và các điểm số đánh giá cũng được cải thiện hơn. Như vậy, RegCM3 hoàn toàn có thể sử dụng cho mục đích dự báo khí hậu mùa khu vực ĐNA khi ta có phân tích và dự báo tốt từ một mô hình dự báo toàn cầu hạn mùa. dùng làm điều kiện ban đầu và điều kiện biên biến đổi theo thời gian cho RegCM3 cùng với dự báo nhiệt độ mặt biển biến đổi theo thời gian từ một mô hình đại dương hay mô hình lồng khí quyển-đại dương.

1. Mở đầu

Nhiều nghiên cứu cho thấy mưa trên BDDD nằm dưới nhánh chính của hoàn lưu gió mùa Ấn Độ. Sự hội tụ của nhánh gió mùa này vào dải hội tụ nhiệt đới (ITCZ) trên Tây Thái Bình Dương dẫn đến mưa lớn gây lũ lụt trên BDDD và các nước lân cận. Vì lẽ đó việc nghiên cứu khả năng dự báo hạn mùa chế độ nhiệt ẩm bằng mô hình khí hậu khu vực cho khu vực này có tầm quan trọng đặc biệt.

Trong vòng vài chục năm gần đây, kỹ năng dự báo khí hậu mùa được cải thiện nhiều nhờ mô hình thủy động. Nhiều trung tâm dự báo nghiệp vụ đã có thể dự báo dự thường hoàn lưu trung bình mùa trước một hoặc vài ba mùa nhờ sử dụng kết hợp mô hình thủy động với mô hình thống kê. Cơ sở khoa học của khả năng dự báo mùa là sự biến đổi chậm của điều kiện biên như nhiệt độ bề mặt biển (SST), độ phủ tuyết, độ ẩm đất hoặc thảm thực vật có thể ảnh hưởng đến hoàn lưu khí quyển toàn cầu và do đó khí hậu bề mặt trái đất.

Ý tưởng đầu tiên về sử dụng mô hình khu vực

hạn chế (LAM) cho nghiên cứu khí hậu khu vực là của Dickinson (1989) và Giorgi (1989) dựa trên khái niệm lồng một chiều. Mô hình hoàn lưu chung khí quyển (GCM) thường có độ phân giải trên 1 độ kinh vĩ trong khi mô hình mô tả tác động khu vực đòi hỏi quy mô dưới 50 km. Biện pháp khoa học phổ biến hiện nay là hạ quy mô (downscaling) động lực và hạ quy mô thống kê. Trong nghiên cứu này chúng tôi áp dụng phương pháp thứ nhất. Đó là lồng một mô hình khí hậu phân giải cao (RCM) vào một mô hình GCM để GCM điều khiển RCM thông qua điều kiện biên xung quanh của miền RCM, còn RCM phát triển khí hậu trong miền hữu hạn của mình. Quá trình lồng này chỉ cho kết quả tốt khi GCM mô phỏng tốt khí hậu quy mô lớn. Như vậy khí hậu của mô hình khu vực được xác định bởi sự cân bằng giữa hai nhân tố; a) những thông tin được cung cấp bởi điều kiện biên xung quanh và b) động lực học và vật lý của chính mô hình LAM (Giorgi, 1999).

Điều kiện nghiêm ngặt của một RCM có thể chạy cho mô hình khí hậu là thời gian mô phỏng của nó vượt thời gian tương thích (spin-up time). Thời gian

tương thích là thời gian để cho những thông tin biên xung quanh xâm nhập vào miền mô hình và tạo ra được cân bằng động lực học giữa trường quy mô lớn trên biên xung quanh và trường khu vực của chính RCM. Thời gian tương thích là trên 3 ngày đối với khí quyển, nhưng dài hơn đối với thành phần đất. RCM được chọn ở đây là RegCM3 trước hết vì nó hoàn toàn đáp ứng đòi hỏi trên đây. Vậy mô hình hoá khí hậu khu vực về bản chất cũng là một bài toán biên.

Trong khi chưa có phân tích và dự báo của một GCM chúng tôi sử dụng chọn lọc các loại phân tích khác nhau. Kết quả nhận được đem so sánh với kết quả tương ứng ngoài nước. Tiêu biểu cho chế độ khí hậu nghiên cứu là hoạt động của hoàn lưu xoáy thuận nhiệt đới và chế độ mưa trên khu vực Đông Nam Á-Việt Nam (ĐNA-VN) và do đó trong nghiên cứu này chúng tôi đánh giá khả năng dự báo của mô hình qua hai yếu tố này.

2. Mô hình mô phỏng khí hậu khu vực RegCM3

a. Sơ lược về RegCM3

Mô hình khí hậu khu vực đầu tiên RegCM về động lực hoàn toàn giống như mô hình quy mô vừa MM4 của NCAR xuất hiện vào những năm 80, trong đó phần vật lý như tham số hoá đối lưu, vận chuyển bức xạ và vật lý đất được biến đổi để thích hợp với mô phỏng các quá trình quy mô khí hậu. RegCM3 là phiên bản tiếp theo của RegCM được phát triển tiếp ở Trung tâm Vật lý lý thuyết Quốc tế (ICTP). RegCM hay RegCM3 được thiết lập trên hệ các phương trình nguyên thủy viết trong tọa độ thẳng đứng theo địa hình

$$\sigma = \frac{(p - p_t)}{(p_s - p_t)} \quad (1)$$

Trong đó: σ : Tọa độ thẳng đứng của mô hình;

P : Áp xuất khí quyển tại 1 mực σ ;

P_t : Áp xuất tại mực trên cùng của mô hình;

P_s : Áp xuất bề mặt.

Chi tiết về động lực học mô hình xem [1], [2]. Điều kiện ban đầu và điều kiện biên biến đổi theo thời gian cho RegCM3 là tái phân tích Dự án tái phân tích số liệu khí quyển từ số liệu quan trắc từ 1957 - 2002 của Trung tâm Dự báo hạn vừa Châu Âu (ERA40) hay JRA của Nhật cho mode mô phỏng hoặc phân tích và dự báo từ một mô hình dự báo

toàn cầu hạn mùa cho mode dự báo. Ngoài ra, điều kiện ban đầu trên biên dưới cho RegCM3 còn cần số liệu mặt đệm (loại đất và thực vật), độ cao địa hình lấy từ phân tích tương ứng. Nhiệt độ mặt biển (SST) biến đổi theo thời gian trong mode dự báo phải là dự báo của một mô hình đại dương hoặc mô hình lồng khí quyển-đại dương.

b. Tham số hoá vật lý trong RegCM3

Bức xạ là nguồn gốc năng lượng của mọi quá trình xảy ra trong khí quyển cần được xác định tốt nhất trong bất cứ một mô hình dự báo thời tiết khí hậu nào mà hiện nay chủ yếu vẫn được tham số hoá. Trong RegCM3 sử dụng sơ đồ của Trung tâm nghiên cứu khí quyển quốc gia (NCAR) CCM3 (Kiehl và CS, 1996), trong đó ảnh hưởng của O_3 , H_2O , CO_2 và O_2 đến các thành phần phổ bức xạ được tính theo gần đúng δ -Eddington (Briegleb, 1992), còn độ phân tán mây và tham số hoá độ hấp thụ bức xạ tính theo Slingo (1989). Nhờ đó các đặc tính quang học của các giọt mây được biểu diễn theo lượng nước mây và bán kính giọt nước hiệu dụng. Tương tác đất khí được tham số hoá bằng sơ đồ vận chuyển sinh-khí (BATS) của Dickinson và nnk (1993). Lớp biên hành tinh được tham số hoá theo sơ đồ của Holtslag và nnk (1990).

c. Vấn đề tham số hoá đối lưu cumulus trong RegCM3 cho khu vực Đông Nam Á (ĐNA)

Ở vùng nhiệt đới, chế độ nhiệt ẩm diễn biến chủ yếu thông qua hoạt động của đối lưu sâu (cumulus) nhưng cho đến nay vẫn không thể tính giải tích mà chỉ có thể tính gần đúng nhờ những sơ đồ tham số hoá đối lưu (TSHDL) khác nhau. Trong RegCM3 có sẵn ba sơ đồ TSHDL để lựa chọn bao gồm sơ đồ Kuo (1974), sơ đồ Arakawa-Shubert do Grell biến đổi (Grell, 1993) mà trong nghiên cứu này được ký hiệu là GA và sơ đồ của Grell (Grell và CS, 1994). Tính toán của chúng tôi cũng như của nhiều tác giả nước ngoài với cả ba sơ đồ này đều cho kết quả thiên thấp trường nhiệt trong nửa tầng khí quyển dưới, đặc biệt ở mực 2 mét và do đó sẽ tác động đến lượng mưa. Việc thay một sơ đồ tham số hoá đối lưu thích hợp hơn vào RegCM3 để áp dụng nó cho khu vực ĐNA-Việt Nam là một mục đích quan trọng của nghiên cứu này.

Trong RegCM3 sử dụng sơ đồ ẩm hiện SUBEX

theo Sundqvist và CS (1989) để tính sự diễn biến của các quá trình ẩm trong mây gây mưa theo biến mô hình. Lượng mưa sẽ là phần lượng mây vượt quá ngưỡng bão hoà được tính chẵn đoán (diagnos). Hai tùy chọn cho tham số hoá thông lượng đại

dương trong RegCM3 là sơ đồ mặt đất BATSIE của Dickinson và CS (1993) và sơ đồ của Zeng CS (1998). Trong bảng 1 là tóm tắt những thử nghiệm thực hiện trong nghiên cứu này.

Bảng 1. Tóm tắt nội dung thử nghiệm số thực hiện trong nghiên cứu này

Nội dung	RegCM3
Độ phân giải	60 km
Kích thước ngang	15S-27N; 75-135E
Lớp biên hành tinh - PBL	Holtslag
Vật lý mây-Microphysics	SUBEX
Mô hình tính ẩm đất	BATS
Bức xạ	CCM3
Thông lượng đại dương	Zeng vs BATSIE
Tham số hoá đối lưu	Grell vs Tiedtke

3. Kết quả mô phỏng hoàn lưu xoáy thuận nhiệt đới và chế độ nhiệt ẩm vùng Đông Nam Á

a. Hoàn lưu xoáy thuận nhiệt đới (TCs)

Với việc sử dụng kết quả tái phân tích ERA40 và JRA, RegCM3 đã mô phỏng hạn mùa được 17 trong số 18 TCs hoạt động trên Biển Đông và Tây Bắc Thái Bình Dương (TBTBD) trong 2 năm 1996-1997

(Chinh, 2007), trong đó RegCM3 đã mô phỏng tốt hơn những TCs mạnh nhưng xấu hơn đối với những TCs yếu và hay thay đổi hướng đột ngột. Nhìn chung, phân tích ERA40 cho kết quả tốt hơn so với phân tích JRA. Sai số trung bình của mô phỏng hạn mùa vị trí tâm của 17 TCs nêu trên cho trong bảng 2.

Bảng 2. Sai số trung bình (km) vị trí tâm TCs mô phỏng được của RegCM3

	ERA40	JRA	Trung bình
Min	38	24	31
Max	763	940	851
TB	289	341	315

Với sử dụng phân tích ERA40 kết quả nghiên cứu của Francisco và CS. (2006) cũng cho thấy, RegCM3 hoàn toàn có thể mô phỏng hạn mùa hoàn lưu TCs hoạt động trên vùng Phillipines, tuy nhiên chất lượng mô phỏng hoàn lưu rất phụ thuộc chất lượng của tái phân tích. Điều đó có nghĩa là nếu một mô hình toàn cầu cho dự báo thời tiết hạn mùa tốt thì RegCM3 hoàn toàn có thể dự báo hạn mùa hoàn lưu TCs trên khu vực Đông Nam Á.

b. Chế độ nhiệt, ẩm vùng ĐNA

Chế độ nhiệt vùng nhiệt đới nói chung khu vực ĐNA nói riêng quyết định bởi nguồn bức xạ mặt trời đi đến đại dương mênh mông của khu vực châu Á

Thái Bình Dương và do đó lượng ẩm vô tận từ đại dương đi vào khí quyển để tạo mưa thông qua đối lưu sâu. Lượng nhiệt được giải phóng từ đó để đốt nóng cả bầu khí quyển trái đất. Việc mô phỏng tốt đối lưu sâu vùng nhiệt đới có tầm quan trọng đặc biệt, trong khi với các sơ đồ TSHĐL gốc trong RegCM3 đều mô phỏng thiên thấp nhiệt độ như đã nêu trên.

Nhiều nghiên cứu của chúng tôi với mô hình dự báo thời tiết HRM cho thấy, với độ phân giải ngang cỡ 0,25 độ và thô hơn HRM với sơ đồ TSHĐL của Tiedtke (1989) cho mô phỏng mưa tương đối tốt; tuy nhiên, khi tăng độ phân giải, chất lượng dự báo mưa

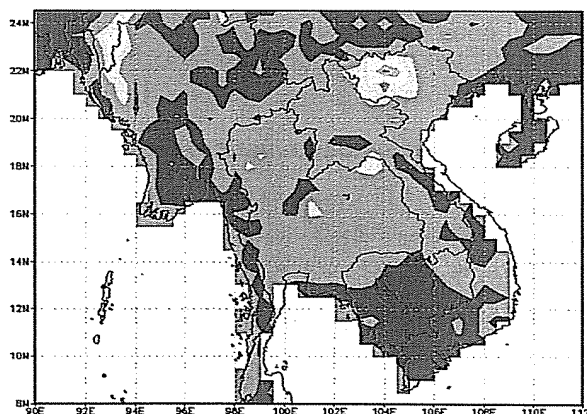
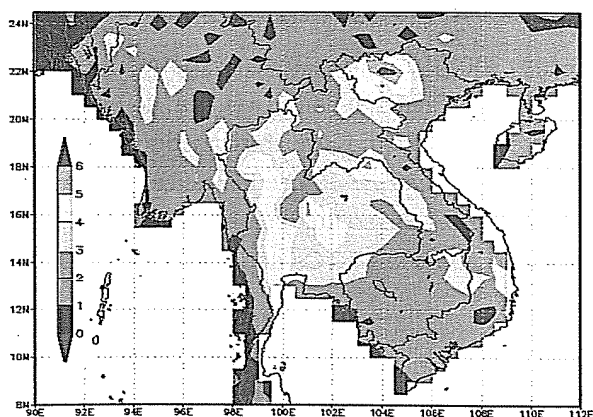
Nghiên cứu & Trao đổi

của mô hình giảm. Cơ chế thiết lập sơ đồ Tiedtke (1989) là hội tụ ẩm mực thấp và bất ổn định khí quyển. Đối với dự báo khí hậu mùa, RegCM3 thường chỉ với độ phân giải khoảng 0,5 độ nên chúng tôi đã chọn sử dụng sơ đồ Tiedtke (1989) thay cho các sơ đồ gốc trong đó. Chi tiết về sơ đồ Tiedtke (1989) có thể xem trong các tài liệu Kiều Thị Xin [1] hay Hồ Thị Minh Hà [2].

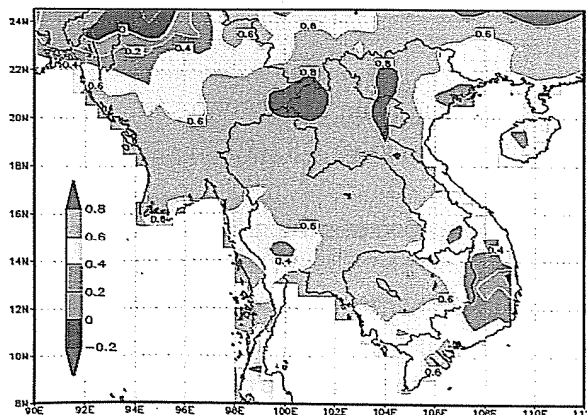
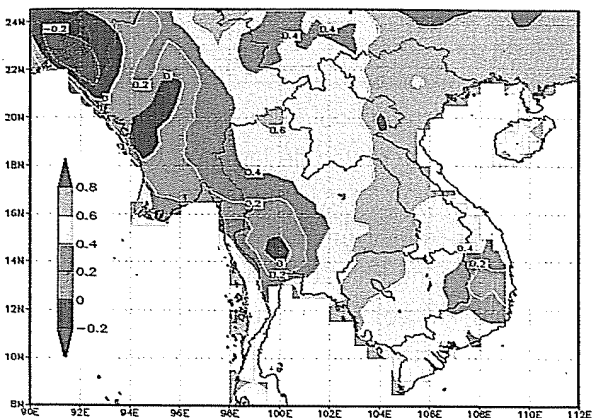
Để tạo ra mô phỏng hạn mùa với điều kiện biên và điều kiện ban đầu là tái phân tích ERA40, chúng tôi đã chạy RegCM3 với hai sơ đồ TSHĐL là sơ đồ gốc Grell-Arakawa-Shubert và sơ đồ Tiedtke (1989) (được ký hiệu là GA và Tie tương ứng) cho ba tháng

mùa hè (tháng 6, 7 và 8) của 10 năm (1991-2000).

Kết quả mô phỏng được đánh giá thông qua so sánh lại với số liệu phân tích CRU (Anh) và với số liệu quan trắc. Trên hình 1 biểu diễn phân bố không gian của sai số quân phương (RMSE) và hình 2 biểu diễn hệ số tương quan (HSTQ) trung bình trên toàn giai đoạn 10 năm cho nhiệt độ tại độ cao 2 mét (T2m): a) với sơ đồ TSHĐL GA và thông lượng đại dương BATSIE (GAB), b) với sơ đồ TSHĐL Tie cùng với sơ đồ BATSIE (TieB). So sánh hai phân bố này cho thấy sự giảm RMSE và tăng HSTQ rõ rệt khi dùng sơ đồ Tie thay cho sơ đồ gốc GA.

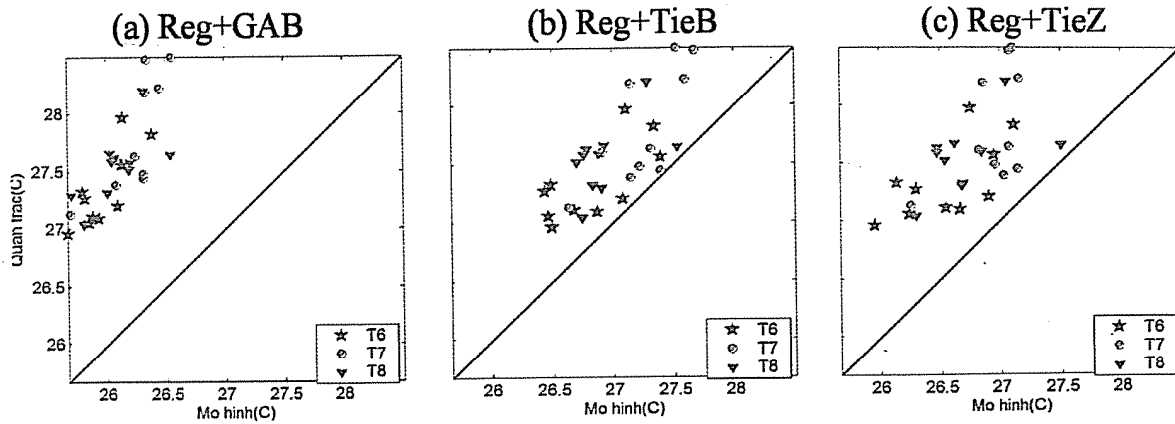


Hình 1. Sai số RMSE của nhiệt độ ngày trung bình mùa hè (các tháng 6, 7, 8) trên mực 2 mét của 10 năm (91-00): Reg+GAB (trái) và Reg+TieB (phải) so với CRU. Đơn vị độ C.

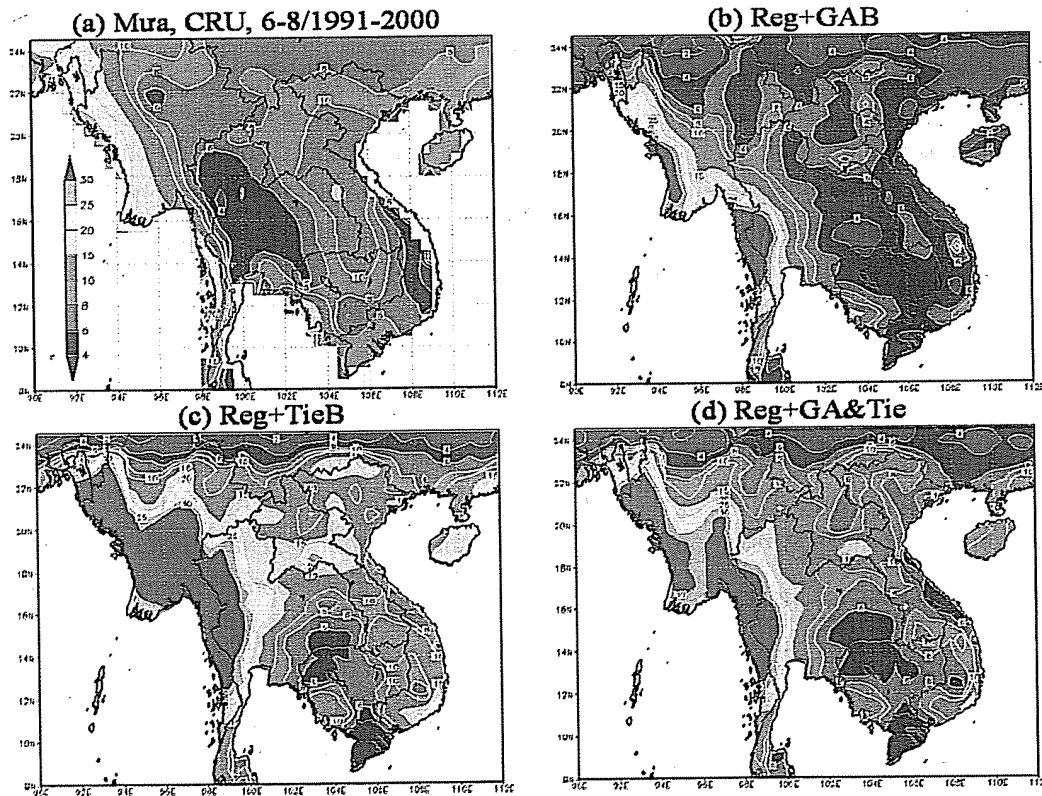


Hình 2. HSTQ của nhiệt độ ngày trung bình mùa hè (các tháng 6, 7, 8) trên mực 2 mét của 10 năm (91-00): Reg+GAB (trái) và Reg+TieB (phải) so với CRU.

Toán đồ tự điểm của nhiệt độ trung bình tháng biểu diễn trên hình 3 cũng khẳng định tính ưu việt của sơ đồ Tie so với sơ đồ GA trên khu vực nghiên cứu. Tuy nhiên, nhiệt độ mô hình xác định được của tất cả các phiên bản đều thiên thấp, đặc biệt đối với tháng 7.



Hình 3. Toán đồ tự điểm của nhiệt độ trung bình các tháng 6,7,8 của 10 năm (91-00) trên toàn lãnh thổ Việt Nam: (a) Reg+GAB, (b) Reg+TieB và (c) Reg+TieZ. Đơn vị độ C.

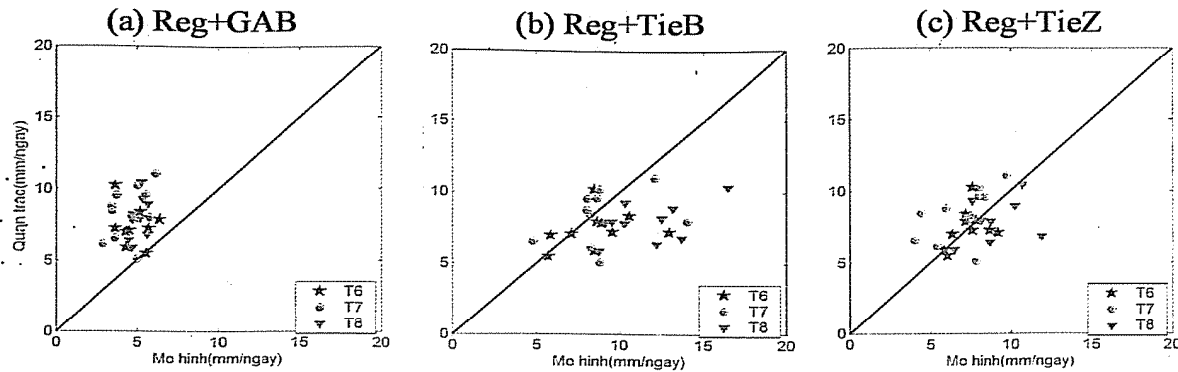


Hình 4. Tổng lượng mưa ngày trung bình các tháng 6, 7, 8 từ năm 1991 đến 2000: (a) CRU (b) Reg+GAB, (c) Reg+TieB và (d) Reg+GA&Tie. Đơn vị mm/ngày.

Trên hình 4 biểu diễn phân bố lượng mưa ngày trung bình của tháng 6, 7, 8 từ năm 1991 đến 2000 phân tích CRU (a) và mô phỏng được của RegCM3 với sử dụng sơ đồ TSHĐL GA (b), với sơ đồ Tie (c) và tổ hợp trung bình lượng mưa của 2 thử nghiệm, ký hiệu là Reg+GA&Tie (g). Kết quả mô phỏng mưa cũng cho thấy với sơ đồ Tie phân bố mưa nhận

được phù hợp hơn với phân tích CRU so với áp dụng sơ đồ GA. Tuy nhiên, lượng mưa của Reg+TieB có xu thế cao hơn CRU. Khi tổ hợp hai sơ đồ bằng cách tính trung bình đơn giản đã đưa đến mưa mô phỏng phù hợp hơn với CRU cả về diện và về lượng.

Nghiên cứu & Trao đổi



Hình 5. Toán đồ tự điểm của lượng mưa trung bình ngày trên toàn lãnh thổ Việt Nam của các tháng 6,7,8 trong 10 năm (91-00) của (a) Reg+GAB, (b) Reg+TieB, (c) Reg+TieZ. Đơn vị mm/ngày.

Trên toán đồ tự điểm ở hình 5, kết quả mô phỏng của phiên bản RegCM3 với sử dụng sơ đồ TSHDL Tie và sơ đồ tính thông lượng đại dương của Zeng thể hiện tốt nhất: lượng mưa trung bình ngày trên toàn lãnh thổ Việt Nam của tất cả các tháng đều phân bố gần hai bên đường lý tưởng (hình c), trong khi với sơ đồ GAB mô hình cho lượng mưa thiên thấp, còn với sơ đồ TieB lượng mưa mô hình lại hơi thiên cao (b).

Bảng 3 biểu diễn thống kê các sai số trung bình (BIAS) và sai số quân phương (RMSE) và hệ số tương quan (HSTQ) giữa kết quả mô phỏng và phân tích của các biến: lượng mưa P, nhiệt độ T2m và nhiệt độ trên các mực

Việt Nam, với sử dụng hai sơ đồ TSHDL GA -Tie. Kết quả tổ hợp từ hai sơ đồ này cho trên bảng 3.

Từ bảng 3 ta thấy với sơ đồ Tie mô nhiệt độ T2m mô phỏng vẫn thiên thấp (BIAS = -1,13°C) nhưng đã tốt hơn nhiều so với sử dụng sơ đồ GA (BIAS = -2,38°C) và do đó các điểm số tương ứng khác cũng tốt hơn. Nhìn chung đối với nửa tầng khí quyển dưới mô hình sử dụng sơ đồ Tie luôn cho kết quả tốt hơn so với dùng sơ đồ GA, biểu hiện qua cả ba điểm số BIAS, RMSE và HSTQ của các biến T2m, T850 hPa. Ngược lại, trong nửa tầng khí quyển trên (thể hiện qua điểm số của nhiệt độ trên mực 300 hPa và 500 hPa), cả ba điểm số này đều xấu hơn, đó là

BIAS thiên cao hơn, RMSE lớn hơn và HSTQ nhỏ hơn. Nếu nhìn trên bản đồ phân bố sai số (hình 1) ta thấy mô phỏng nhiệt độ thiên cao thường tập trung trên các vùng có địa hình phức tạp trong khi các hiệu ứng này không được tính đến trong các sơ đồ TSHDL hay trong quan hệ giữa địa hình và đối lưu.

Đối với lượng mưa, mô hình với sử dụng sơ đồ GA thường cho lượng mưa thấp hơn so với CRU với RMSE cỡ 3.30 mm/ngày trong khi với sơ đồ Tie mô hình lại cho lượng mưa cao hơn phân tích CRU với RMSE cỡ 2.85 mm/ngày. HSTQ đối với lượng mưa khá thấp, trong cả hai trường hợp sử dụng GA và Tie đều chỉ đạt khoảng 0,20mm/ngày.

Mỗi sơ đồ đều có những ưu và nhược điểm nhất định nên việc tổ hợp sử dụng các sơ đồ đang là xu thế áp dụng hiện nay. Kết quả sử dụng tổ hợp hai sơ đồ nêu trong bảng 3.3 cho thấy tính ưu việt của việc tổ hợp này, trong đó lượng mưa trung bình mô phỏng với BIAS khoảng -0,79 mm/ngày, RMSE giảm mạnh chỉ còn 1,80 mm/ngày, HSTQ tăng từ 0,20 lên 0,25. Đối với nhiệt độ, HSTQ tại độ cao 2m và trên cả ba mực 850hPa, 500hPa và 300 hPa đều tăng từ 0,85 đến 0,87. Kết quả nghiên cứu của Park (2005) cũng khẳng định rằng, RegCM3 không những mô phỏng tốt mưa mùa hè mà còn mô phỏng tốt sự biến đổi trong năm của nó, trong đó mô phỏng hơi thiên cao lượng mưa trên Biển Nam Trung Hoa với bias khoảng 0,5 mm/ngày.

Bảng 3. Kết quả thống kê các điểm số BIAS, RMSE và hệ số tương quan của khí hậu trung bình 10 năm trên toàn BĐDD và Việt Nam với hai sơ đồ TSHDL khác nhau : GA vs Tie

Biến		BIAS	RMSE	HSTQ
Với sơ đồ TSHDL GA				
P	(mm/ngày)	-3,30	3,64	0,20
T2m	(độ C)	-2,38	2,38	0,83
T850hPa	(độ C)	-1,22	1,24	0,82
T500 hPa	(độ C)	0,04	0,14	0,91
T300 hPa	(độ C)	-0,15	0,22	0,93
Với sơ đồ TSHDL Tie				
P	(mm/ngày)	1,71	2,85	0,20
T2m	(độ C)	-1,13	1,14	0,85
T850 hPa	(độ C)	0,08	0,23	0,85
T500 hPa	(độ C)	0,21	0,30	0,76
T300 hPa	(độ C)	0,71	0,75	0,84

Bảng 4. Kết quả thống kê các điểm số BIAS, RMSE và hệ số tương quan của khí hậu trung bình 10 năm trên toàn IP và Việt Nam với tổ hợp hai sơ đồ TSHDL GA và Tie

Biến		BIAS	RMSE	HSTQ
Tổ hợp 2 sơ đồ TSHDL GA và Tie				
P	(mm/ngày)	-0,79	1,80	0,25
T2m	(độ C)	-1,75	1,76	0,86
T850 hPa	(độ C)	-0,57	0,60	0,86
T500 hPa	(độ C)	0,13	0,19	0,88
T300 hPa	(độ C)	0,28	0,32	0,92

4. Kết luận

Với tất cả những kết quả nghiên cứu trong và ngoài nước nêu trên có thể khẳng định rằng, RegCM3 hoàn toàn có thể sử dụng cho mục đích dự báo khí hậu mùa khu vực ĐNA khi ta có phân tích và dự báo tốt từ một mô hình dự báo toàn cầu

hạn mùa dùng làm điều kiện ban đầu và điều kiện biên biến đổi theo thời gian cho RegCM3 cùng với dự báo nhiệt độ mặt biển biến đổi theo thời gian từ một mô hình đại dương hay mô hình lồng khí quyển đại dương.

Tài liệu tham khảo

1. Kiều Thị Xin (2005): "Nghiên cứu dự báo mưa lớn diện rộng bằng công nghệ hiện đại phục vụ phòng chống lũ lụt ở Việt Nam". Đề tài độc lập cấp nhà nước, Mã số 2002/02.
2. Hồ Thị Minh Hà (2008): "Nghiên cứu khả năng mô phỏng mùa các yếu tố khí tượng trên lãnh thổ Việt Nam bằng phương pháp thủy động và thống kê". Luận án tiến sĩ khí tượng học.
3. Tạ Hữu Chính (2007). Luận văn thạc sĩ khí tượng học.
4. Briegleb B.P. (1992): "Delta-eddington approximation for solar radiation in the NCARcommunity climate model", J. Geophys. Res. Vol. 97, pp. 7603–7612.
5. Dickinson R.E., Errico R.M., Giorgi F., Bates G.T. (1989): "A regional climate model for the western. United States", Climatic Change. Vol. 15, pp. 383–422.

6. Dickinson R.E., Henderson-Sellers A., Kennedy P.J. (1993): "Biosphere-atmosphere transfer scheme (Bats) version 1e as coupled to the ncar community climate model", Tech. rep., National Center for Atmospheric Research.
7. Francisco, R. V., J. Argete, F. Giorgi, J. Pal, X. Bi, and W. J. Gutowski (2006): "Regional model simulation of summer rainfall over the Philippines: Effect of choice of driving fields and ocean flux schemes". *Theor Appl Climatol*, 86(1-4), 215, doi:10.1007/s00704-005-0216-2.
8. Giorgi F., Bates G.T. (1989): "The climatological skill of a regional model over complex terrain", *Mon. Wea. Rev.*, 117(11), pp. 2325–2347. DOI: 10.1175/1520-0493(1989)117<2325:TCSOAR>2.0.CO;2
9. Giorgi F., Mearns L.O. (1999): "Introduction to special section: Regional climate modeling revisited" *Journal of Geophysical Research*. Vol. 104 (D6), pp. 6335-6352.
- 10.rell G.A. (1993): Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterization. *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 121, pp. 764-787.
11. Grell G. A., J. Dudhia, and D. R. Stauffer (1994): A Description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). NCAR Tech. Note NCAR/TN-398+STR, 121 pp. [Available from National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO 80301-3000].
12. Holtslag A.A.M., Bruijn E.I.F., Pan H.-L. (1990): "A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting", *Mon. Wea. Rev.* Vol. 118, pp. 1561–1575.
13. Kiehl J.T., Hack J.J., Bonan G.B., Boville B.A., Breigleb B.P., Williamson D., Rasch P. (1996): "Description of the NCAR community climate model (ccm3)", Tech. Rep. NCAR/TN-420+STR, National Center for Atmospheric Research.
14. Kuo H.L. (1974): "Further studies of the parameterization of the influence of cumulus convection on large scale flow", *J. Atmos. Sci.* Vol. 31, pp. 1232-1240.
15. Park, E-Hyung (2005): "Characteristics of the Simulated East-Asian Summer Monsoon Circulation in the RegCM3". The master's thesis. The Graduate School, Yonsei University August 2005.
16. Slingo J.M. (1989): "A GCM parameterization for the shortwave radiative properties of water clouds", *J. Atmos. Sci.* Vol. 46, pp. 1419–1427.
17. Sundqvist H., Berge E., Kristjansson J.E. (1989): "Condensation and cloud parameterization studies with a mesoscale numerical weather prediction model", *Mon. Wea. Rev.* Vol. 117, pp. 1641-1657.
18. Tiedtke M. (1989): "A comprehensive mass flux scheme for cumulus parameterization in largescale models", *Mon. Wea. Rev.* Vol. 117, pp. 1779-1800.
19. Zeng X., Zhao M., Dickinson R.E. (1998): "Intercomparison of Bulk Aerodynamic Algorithm for the Computation of Sea Surface Fluxes Using TOGA COARE and TAO data", *Journal of Climate* Vol. 11, pp. 2628-2644.