TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Đường nước khí tượng địa phương trên lưu vực sông Đồng Nai và ảnh hưởng của lượng mưa, độ cao đến thành phần đồng vị bền (^{18}O) trong nước mưa

Bùi Quang Trí[1]*, Đặng Công Minh[1], Dương Thị Bích Chi[1], Võ Thị Ngọc Cẩm[1], Nguyễn Văn Mười[2]

[1] Phòng thí nghiệm thủy văn đồng vị, Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp, Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam; tribq@canti.vn; minhdc@canti.vn; chidtb@canti.vn; camvtn@canti.vn

[2] Liên đoàn Điều tra và Quy hoạch nước miền Trung, Trung tâm Điều tra và Quy hoạch tài nguyên nước quốc gia; nguyenmuoi707@gmail.com

*Tác giả liên hệ: quangtricanti@gmail.com; Tel.: +84–913188582

Ban Biên tập nhận bài: 15/12/2024; Ngày phản biện xong: 16/01/2025; Ngày đăng bài: 8/6/2025

Tóm tắt: Nghiên cứu thành phần đồng vị (TPĐV) δD và $\delta^{18}O$ trong nước mưa là một việc rất quan trọng để phục vụ cho việc nghiên cứu nước dưới đất trong một khu vực. Trong nghiên cứu này trình bày kết quả phân tích TPĐV δD và $\delta^{18}O$ trong nước mưa tại 6 trạm khí tượng trên lưu vực sông Đồng Nai (LVSĐN) nhằm xây dựng đường nước khí tượng (ĐNKT) địa phương, đánh giá "Hiệu ứng lương mưa" và "Hiệu ứng cao độ" của thành phần đồng vị ^{18}O trong nước mưa, trên LVSĐN. Kết quả nghiên cứu cho thấy: ĐNKT địa phương trên LVSĐN tuân theo mô hình $\delta D = 7,58\delta^{18}O + 9,67$; ($R^2$ = 0,91) và có hệ số góc, giá trị d-ex đều thấp hơn ĐNKT toàn cầu (GMWL), nhưng phù hợp với các ĐNKT địa phương trong khu vực, như: Tp.HCM, Đồng bằng Nam Bộ và BangKok; TPĐV ^{18}O trong nước mưa nghèo đi khi lượng mưa tăng lên. Trong cùng khu vực, quan hệ giữa giá trị $\delta^{18}O$ và p (lượng mưa) là: -0,0109‰, độ dốc là -4,43‰ đối với trạm Trị An -0,0107‰, độ dốc là -4,33‰ đối với trạm Long Khánh; TPĐV ^{18}O trong nước mưa cũng giảm dần theo độ cao, tương ứng là -0,16 ‰/100 m độ cao đối với $\delta^{18}O$. Như vậy, các yếu tố khí hậu và địa lý đóng vai trò quan trọng tạo nên sự khác biệt về TPĐV δD và $\delta^{18}O$ trong nước mưa.

Từ khóa: Đường nước khí tượng địa phương; Hiệu ứng độ cao; Hiệu ứng lượng mưa; Thành phần đồng vị δD (Hydro-2); Thành phần đồng vị $\delta^{18}O$ (Oxy-18).

1. Mở đầu

Đồng vị môi trường được sử dụng thường xuyên trong nghiên cứu địa hóa và địa chất thủy văn. Đồng vị oxy và hydro của nước được sử dụng rộng rãi làm chất đánh dấu để nghiên cứu các quá trình địa chất thủy văn như: nước mưa, bổ cấp nước dưới đất (NDĐ), tương tác NDĐ - nước mặt và thủy văn lưu vực [1–3]. Nước mưa là một trong các nguồn bổ cấp cho NDĐ, do đó cần phải nghiên cứu về thành phần đồng vị (TPĐV) δD và $\delta^{18}O$ của nước mưa, trước khi được bổ cấp cho NDĐ. Các quá trình tự nhiên gây ra sự biến đổi TPĐV δ^2H và $\delta^{18}O$ của nước mưa là: (i) nhiệt độ ngưng tụ gây mưa; (ii) nước mưa của khối ẩm không khí khi chuyển pha [4]. Do đó, TPĐV δ^2H và $\delta^{18}O$ trong các nguồn nước tự nhiên sẽ thay đổi trong suốt quá trình từ khi gây ẩm đến khi gây mưa [5, 6]. Trong quá trình chuyển hơi ẩm từ đại dương vào lục địa, độ ẩm của khí quyển sẽ tăng cường sự ngưng tụ các phân tử có TPĐV

nặng và gây mưa, khiến cho phần hơi ẩm còn lại ngày càng cạn kiệt TPĐV nặng. Sự ngưng-mưa ngưng tụ tuần tự như vậy xảy ra khi các khối không khí di chuyển từ biển vào đất liền và ở những khu vực có độ cao, nhiệt độ khí quyển thấp dễ ngưng tụ ẩm gây mưa [6]. Như vậy, trên bề mặt đại dương, hơi ẩm có TPĐV nặng bị suy giảm hơn khi so với nước đại dương. TPĐV δ^2H và $\delta^{18}O$ trong nước mưa cùng bị chi phối bởi các yếu tố khí hậu cũng như địa lý như đã nêu ở trên nên mức độ thay đổi của chúng có quan hệ tuyến tính và trên phạm vi toàn cầu, mối tương quan này được gọi là đường nước khí tượng toàn cầu (GMWL*: Global Meteoric Water Line*) hay đường nước khí tượng Craig vì Craig là người đầu tiên tìm ra mối quan hệ này và công bố vào năm 1961, theo phương trình sau: $\delta D = 8\times\delta^{18}O + 10$ [7]. Đại lượng $\delta D - 8\delta^{18}O$ được gọi là giá trị deuteri dư (hay d-excess, ký hiệu là d-ex), giá trị d-ex của GMWL là 10 [7].

Đường nước khí tượng địa phương (LMWL: *Local Meteoric Water Line*) bao gồm một tập hợp con của (GMWL) và mô tả mối quan hệ giữa các giá trị δ^2H và $\delta^{18}O$ trong nước mưa ở một khu vực cụ thể. Mối quan hệ này được kiểm soát bởi cả sự phân đoạn đồng vị động học và cân bằng trong quá trình bay hơi và ngưng tụ nước sau đó để tạo thành lượng mưa [8].

"Hiệu ứng lượng mưa" có thể được quan sát thấy trong những trận mưa nhẹ hoặc những trận mưa lớn. Trong cả hai trường hợp, nước mưa bay hơi trong quá trình rơi xuống mặt đất khi không khí có độ ẩm tương đối thấp. Trong những cơn mưa lớn kéo dài, không khí có thể trở nên bão hòa hơn, làm giảm lượng mất mát do bay hơi, kéo theo việc làm giàu đồng vị nặng trong nước mưa ít hơn. "Hiệu ứng lượng mưa" cho thấy nước mưa thu được trong các trận mưa nhỏ giàu đồng vị nặng hơn trong nước mưa thu được trong các trận mưa lớn.

Người ta thường quan sát thấy rằng các đồng vị ^{18}O và ^{2}H trong nước mưa giảm dần khi độ cao tăng lên [9]. Hiện tượng này được gọi là "Hiệu ứng độ cao" và chủ yếu là do khối không khí nguội đi khi chúng bay lên trên núi, kèm theo sự thoát ra của lượng hơi ẩm dư thừa [10, 11]. "Hiệu ứng độ cao" rất quan trọng vì chúng cho phép các ứng dụng hữu ích trong thủy văn đồng vị như: xác định bổ cấp cho NDĐ [11, 12]), cổ khí hậu [13], cổ sinh học [14], tính xác thực của thực phẩm [15], …

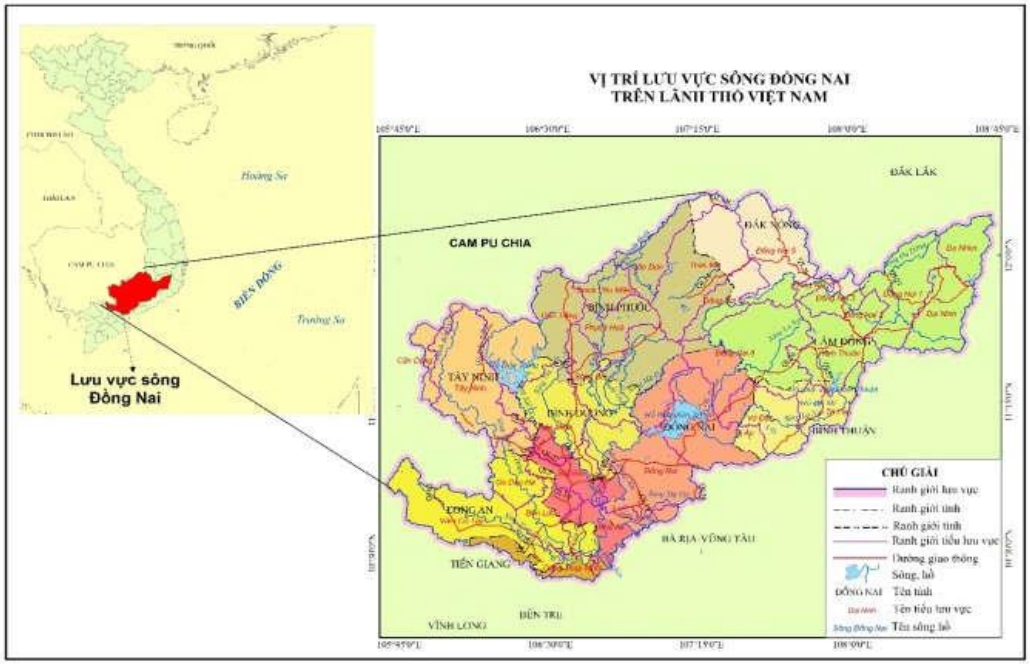
Mục đích của nghiên cứu này nhằm xây dựng ĐNKT địa phương cho LVSĐN và đánh giá ảnh hưởng của lượng mưa và cao độ đến TPĐV ^{18}O để làm cơ sở xác định lượng bổ cấp nước mưa cho các tầng chứa NDĐ trên LVSĐN.

2. Phương pháp nghiên cứu

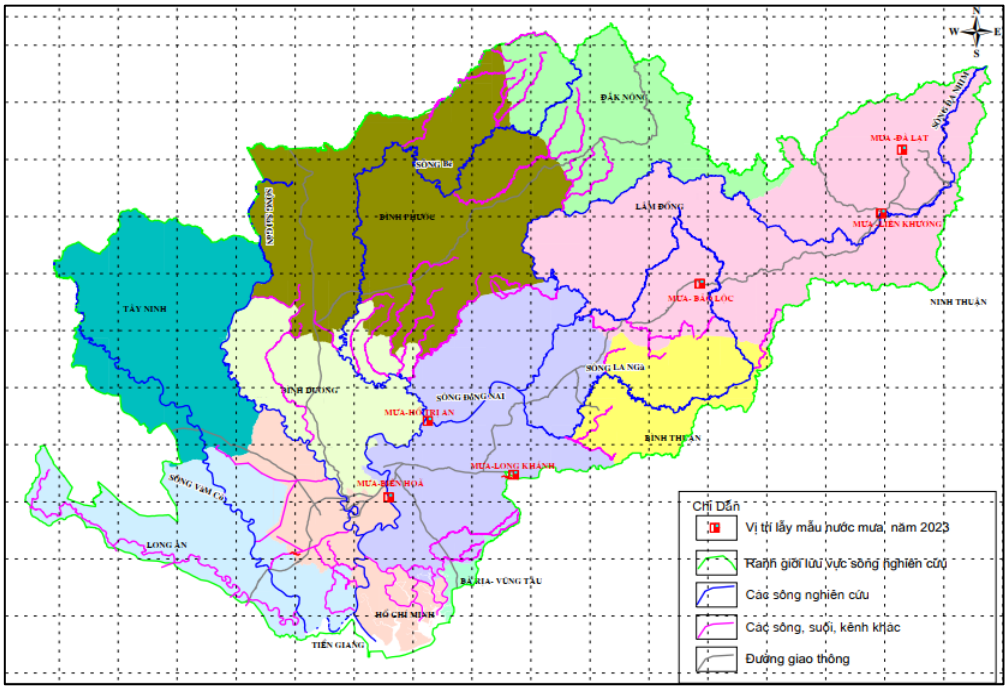
2.1. Khu vực nghiên cứu

a) Lưu vực sông Đồng Nai: Hệ thống sông Đồng Nai là một trong ba hệ thống sông lớn nhất của Việt Nam (sau hệ thống sông Hồng và hệ thống sông Mê Kông), nó bao gồm: dòng sông chính Đồng Nai và 4 dòng song phụ là: sông La Ngà, sông Bé, sông Sài Gòn và sông Vàm Cỏ. LVSĐN nằm ở miền Đông Nam Bộ của Việt Nam với tổng diện tích lưu vực vào khoảng 13.822 km^2. Chiều dài dòng chính sông Đồng Nai là 628 km, bắt nguồn từ cao nguyên Lang Biang chảy qua các tỉnh Lâm Đồng, Đắk Nông, Đồng Nai và Tp. HCM chảy ra biển thông qua cửa Soài Rạp (Hình 1) [16].

Cao nguyên Lang Biang (còn gọi cao nguyên Lâm Viên, cao nguyên Đà Lạt) [18] thuộc Tây Nguyên, nằm ở thượng nguồn LVSĐN, với độ cao trung bình khoảng 1.500 m so với mực nước biển. Phía nam cao nguyên có thành phố Đà Lạt. Phía đông và đông nam dốc xuống thung lũng sông Đa Nhim, tây nam hạ xuống cao nguyên Di Linh. Cao độ địa hình tiếp tục được hạ xuống đến Bảo Lộc (khoảng 800 m), Long Khánh (gần 200 m) và Biên Hòa (khoảng 30 m) so với mực nước biển trung bình.



Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu - Lưu vực dòng sông Đồng Nai [17].



Hình 2. Vị trí lấy mẫu nước mưa trên lưu vực sông Đồng Nai.

Trong nghiên cứu này, mẫu nước mưa đã được thu thập từ tháng 9 năm 2023 đến tháng 8 năm 2024, với tuần suất 02 mẫu/tháng, tại 05 trạm khí tượng (Biên Hòa, Trị An, Long Khánh, Bảo Lộc, Liên Khương và Đà Lạt, dọc theo tuyến từ thành phố Biên Hòa (30 m so với mặt nước biển) lên đến thành phố Đà Lạt (1500 m so với mực nước biển) trên LVSĐN. Vị trí toạ độ và cao độ của từng trạm khí tượng được trình bày trong Hình 2 và Bảng 1.

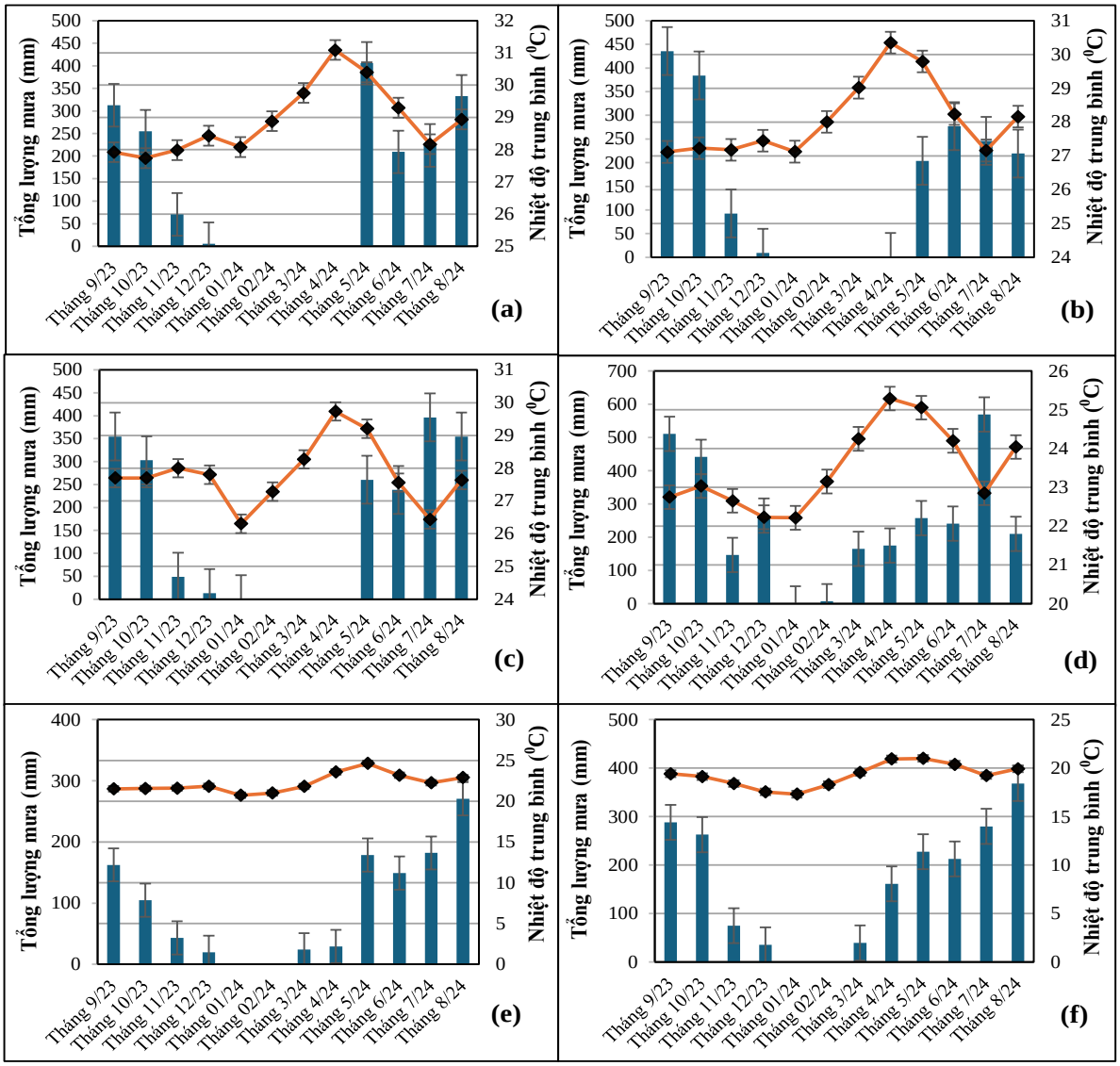
Bảng 1. Vị trí và cao độ các trạm khí tượng sử dụng thu thập mẫu nước mưa.

TT	Tên Trạm	Địa danh	Toạ độ		Cao độ (m)
			Y	X	
1	Biên Hòa	Long Thành, Đồng Nai	1201589,88	701673,26	30
2	Trị An	Vĩnh Cửu, Đồng Nai	1228328,24	715023,34	50
3	Long Khánh	Tp. Long Khánh, Đồng Nai	1209510,67	744090,29	160

TT	Tên Trạm	Địa danh	Toạ độ		Cao độ (m)
			Y	X	
4	Bảo Lộc	TP Bảo Lộc, Lâm Đồng	1276462,25	807251,77	852
5	Liên Khương	Đức Trọng, Lâm Đồng	1301128,95	868840,41	949
6	Đà Lạt	Tp. Đà Lạt, Lâm Đồng	1323369,79	875842,02	1512

b) Đặc điểm khí hậu

LVSĐN nằm trong vùng nhiệt đới - gió mùa, khí hậu trong năm có hai mùa rõ rệt, mùa mưa và mùa khô. Mùa mưa thường diễn ra từ tháng 5 đến tháng 11 và mùa khô từ tháng 12 đến tháng 4 năm sau. Trong mùa mưa chịu ảnh hưởng của gió mùa Tây Nam từ vịnh Thái Lan thổi sang. Vào mùa khô chịu ảnh hưởng của gió mùa Đông Bắc từ biển Đông đưa vào.



Hình 3. Nhiệt độ và lượng mưa trung bình tháng trong thời gian nghiên cứu; a) Trạm khí tượng Biên Hòa; b) Trạm khí tượng Trị An; c) Trạm khí tượng Long Khánh; d) Trạm khí tượng Bảo Lộc; e) Trạm khí tượng Liên Khương; f) Trạm khí tượng Đà Lạt.

Hình 3 trình bày sự thay đổi của nhiệt độ và lượng mưa trung bình tháng tại các trạm khí tượng trên LVSĐN trong thời gian nghiên cứu. Nhiệt độ trung bình năm cao nhất tại trạm khí tượng Biên Hòa (28,9°C) và thấp nhất tại Trạm khí tượng Đà Lạt (19,3°C). Nhiệt độ trung tháng cao nhất là 31,1°C (tháng 4/2024, tại Trạm khí tượng Biên Hòa) và nhiệt độ trung bình tháng thấp nhất là 17.3°C (tháng 1/2024, tại trạm khí tượng Đà Lạt). Tổng lượng mưa tháng dao động từ 0,1 mm đến 569,4 mm; Tổng lượng mưa đo được trong thời gian nghiên cứu (12 tháng) cao nhất tại trạm khí tượng Bảo Lộc là 2.991,8 mm và thấp nhất tại trạm khí tượng

Liên Khương là 1.164 mm. Trên toàn LVSĐN thì tháng 8/2024 là tháng có lượng mưa cao nhất, tại các trạm khí tượng đo được từ 182,1 mm đến 569,4 mm và tháng 3/2024 là tháng có lượng mưa nhỏ nhất từ 24 mm đến 165,2 mm (hai trạm Biên hòa và Long Khánh không có mưa). Tháng 01/2024 và tháng 02/2024 tất cả các trạm đều không mưa [19].

2.2. Lấy mẫu

Việc lấy mẫu sử dụng các dụng cụ được thiết kế theo hướng dẫn kỹ thuật của IAEA [20]. Các dụng cụ này bao gồm bình chứa bằng thép không gỉ có dung tích 20 lít, đặt trong bình cách nhiệt hai lớp. Nước mưa được dẫn qua một phễu thu nước bằng thép không gỉ có đường kính 20 cm và chảy qua ống nhựa nối tới đáy bình. Phần khí bên trong bình được đẩy ra ngoài qua một ống nhựa đường kính 2 mm và dài khoảng 10 m để tránh sự bay hơi. Các bộ dụng cụ này được bố trí tại các trạm khí tượng ở vị trí thoáng, tránh các vật cản như cây cối hay tòa nhà, nhằm đảm bảo nước mưa rơi thẳng vào bình. Mẫu nước mưa được thu hai lần mỗi tháng, vào giữa và cuối tháng. Sau khi thu thập, mẫu được chuyển vào chai nhựa HDPE dung tích 1.000 ml, đậy kín bằng nắp hai lớp và bảo quản ở 4°C. Cuối cùng, mẫu được đưa về phòng thí nghiệm để phân tích TPĐV δD và $\delta^{18}O$.

2.3. Phân tích TPĐV δD và $\delta^{18}O$

TPĐV $\delta^{2}H$ và $\delta^{18}O$ trong các mẫu nước mưa được phân tích định lượng bằng thiết bị quang phổ laser IWA-35EP (do hãng Los Gatos Research - LGR sản xuất). Quá trình phân tích được thực hiện tại Phòng thí nghiệm Thuỷ văn đồng vị, thuộc Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp (CANTI).

TPĐV δD và $\delta^{18}O$ trong các mẫu nước được định nghĩa là:

$$\delta\left(\frac{0}{00}\right) = \frac{R_{sample} - R_{VSMOW}}{R_{VSMOW}} \times 1000 \quad (1)$$

Trong đó R là tỷ số nồng độ tính theo mole của các đồng vị nặng (D hoặc ^{18}O) so với nồng độ đồng vị nhẹ (H hoặc ^{16}O) trong mẫu phân tích (sample) và trong mẫu chuẩn VSMOW (*Vienna Standard of Mean Ocean Water*) là mẫu nước biển trung bình do Phòng Thủy văn đồng vị của Cơ quan năng lượng nguyên tử Quốc tế (IAEA), có trụ sở lại Vienna cung cấp. Đồng vị D và ^{18}O trong nước được trình bày dưới dạng δD và $\delta^{18}O$. Độ chính xác của phép định lượng $\delta^{18}O$ và δD trên thiết bị khối phổ Laser lần lượt là 0,1 và 2,0‰.

Giá trị deuteri dư (d-ex) được tính theo công thức sau [7]:

$$d - ex = \delta D - 8 \times \delta^{18}O \quad (2)$$

Phép định lượng δD và $\delta^{18}O$ trong mẫu nước của thiết bị quang phổ laser IWA dựa vào sự phụ thuộc giữa cường độ chùm tia laser khi đi qua buồng chứa mẫu (*cavity*) là hơi nước và tỷ lệ hàm lượng đồng vị (R) của hydro, oxy trong mẫu do D và ^{18}O hấp thụ ánh sáng laser [21].

Quy trình phân tích TPĐV δD và $\delta^{18}O$ của các mẫu nước, được Phòng thí nghiệm của CANTI thiết lập theo hướng dẫn của hãng cung cấp thiết bị (LGR) và IAEA. Để đảm bảo độ tin cậy của phép phân tích, Phòng thí nghiệm Thủy văn đồng vị của CANTI thường xuyên tham gia phân tích so sánh liên phòng với các phòng thí nghiệm trong nước.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả phân tích TPĐV δD và δ18O trong mẫu nước mưa

Số liệu về lượng mưa và TPĐV δD và $\delta^{18}O$ trong các mẫu nước mưa, tại các trạm khí tượng trên LVSĐN được trình bày trong Bảng 2. Giá trị (d-ex) trong nước mưa được tính theo công thức (2) và được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 2. Lượng mưa và kết quả phân tích TPĐV δ^2H và δ^{18}O của các mẫu nước mưa tại các trạm khí tượng trên LVSĐN.

TT	Tháng	Trạm khí tượng Biên Hòa				Trạm khí tượng Trị An				Trạm khí tượng Long Khánh				Trạm khí tượng Bảo Lộc				Trạm khí tượ
		Nhiệt độ, ^{0}C	Lượng mưa, mm	δ^{18}O (‰)	δD (‰)	Nhiệt độ, ^{0}C	Lượng mưa, mm	δ^{18}O (‰)	δD (‰)	Nhiệt độ, ^{0}C	Lượng mưa, mm	δ^{18}O (‰)	δD (‰)	Nhiệt độ, ^{0}C	Lượng mưa, mm	δ^{18}O (‰)	δD (‰)	Nhiệt độ, ^{0}C	Lượng mưa, mm
1	Tháng 9/2023	27,9	312,6	-9,43	-65,91	27,1	435,6	-9,59	-64,7	27,7	354,8	-9,59	-64,71	22,8	511,1	-8,91	-63,55	21,5	162,6
2	Tháng 10/2023	27,7	255,2	-7,25	-47,72	27,2	384,0	-6,99	-45,14	27,7	303,0	-6,99	-45,14	23,0	441,8	-9,63	-69,33	21,6	104,7
3	Tháng 11/2023	28,0	70,7	-3,67	-21,84	27,2	92,7	-5,13	-32,03	28,0	48,7	-5,13	-32,03	22,7	146,7	-8,38	-54,26	21,6	43,2
4	Tháng 12/2023	28,4	6,0	-2,13	-15,31	27,5	9,5			27,8	13,2			22,2	265,2	-5,26	-24,68	21,8	19,9
5	Tháng 1/2024	28,1				27,1				26,3	0,1			22,22	0,8			20,7	
6	Tháng 2/2024	28,9				28,0				27,3				23,15	7,7			21,0	
7	Tháng 3/2024	29,8				29,0				28,3				24,25	165,2	-2,47	-7,78	21,8	24,0
8	Tháng 4/2024	31,1				30,4	1,0			29,7				25,29	175,0	-3,91	-16,08	23,6	29,2
9	Tháng 5/2024	30,4	405,6	-4,70	-25,49	29,8	203,8	-4,45	-27,67	29,2	260,3	-4,45	-27,67	25,06	257,6	-5,60	-33,97	24,6	178,7
10	Tháng 6/2024	29,3	209,2	-5,97	-38,09	28,2	277,1	-8,62	-59,85	27,6	238,3	-8,62	-59,85	24,20	241,0	-8,89	-55,15	23,2	149,1
11	Tháng 7/2024	28,2	223,8	-7,71	-54,87	27,2	246,0	-8,62	-58,86	26,4	396,4	-8,62	-58,86	22,85	569,4	-8,86	-60,31	22,3	182,1
12	Tháng 8/2024	28,9	332,6	-6,56	-43,90	28,2	219,2	-7,91	-54,76	27,6	354,6	-7,91	-54,76	24,04	210,3	-7,38	-42,58	22,9	270,5
	Trung bình	**28,89**	**1.816**	**-5,93**	**-39,14**	**28,07**	**1.869**	**-7,33**	**-49**	**27,80**	**1.969**	**-7,329**	**-49**	**23,48**	**2.992**	**-6,93**	**-42,8**	**22,2**	**1.164**

Bảng 3. TPĐV δ2H và δ^{18}O trong nước mưa và mức d-ex của các mẫu nước mưa thu được tại các trạm khí tượng trong LVSĐN.

TT	Ngày lấy mẫu	Trạm Biên Hòa			Trạm Trị An			Trạm Long Khánh			Trạm Bảo Lộc			Trạm Liên Khương			Trạm Đà Lạt		
		δ^{18}O (‰)	δD (‰)	D-dư (‰)	δ^{18}O (‰)	δD (‰)	D-dư (‰)	δ^{18}O (‰)	δD (‰)	D-dư (‰)	δ^{18}O (‰)	δD (‰)	D-dư (‰)	δ^{18}O (‰)	δD (‰)	D-dư (‰)	δ^{18}O (‰)	δD (‰)	D-dư (‰)
1	30-Sep-23	-9,43	-65,91	9,51	-11,97	-85,09	10,66	-9,59	-64,71	11,99	-8,91	-63,55	7,73	-11,76	-87,34	6,74	-12,59	-75,77	24,95
2	15-Oct-23	-8,28	-57,05	9,16	-10,26	-71,79	10,32	-6,99	-45,14	10,80	-8,97	-64,69	7,07	-7,33	-50,6	8,04	-12,88	-79,05	23,96
3	30-Oct-23	-6,22	-38,38	11,39	-10,88	-74,70	12,35				-10,29	-73,97	8,35	-8,87	-61,45	9,51	-8,68	-44,66	24,78
4	15-Nov-23	-4,96	-30,77	8,91	-5,24	-29,65	12,31	-5,50	-33,55	10,47	-8,76	-59,49	10,62	-7,74	-53,46	8,49	-8,16	-48,94	16,32
5	30-Nov-23	-2,39	-12,92	6,17	-3,20	-15,70	9,90	-4,75	-30,52	7,49	-7,99	-49,03	14,88	-6,52	-39,50	12,68	-7,95	-38,85	24,73
6	15-Dec-23	-2,13	-15,31	1,73	-4,40	-30,12	5,10				-5,81	-29,48	16,97	-8,39	-60,17	6,93			
7	29-Dec-23				-0,74	-9,40	-3,49				-4,72	-19,88	17,88				-8,06	-40,26	24,21
8	15-Jan-24																		
9	31-Jan-24																		
10	15-Feb-24																		
11	29-Feb-24																		
12	15-Mar-24										-1,73	-1,18	12,68						
13	29-Mar-24										-3,21	-14,39	11,27	-5,02	-30,88	9,27			
14	15-Apr-24																-7,68	-39,78	21,65
15	02-May-24				0,76	4,13	-1,95				-3,91	-16,08	15,22	-3,95	-20,19	11,42	-5,26	-20,56	21,53
16	15-May-24	-3,67	-18,56	10,77				-3,93	-22,48	8,95	-3,82	-20,10	10,42	-3,29	-14,00	12,32	-5,28	-19,64	22,57
17	30-May-24	-5,73	-32,43	13,45	-7,76	-42,74	19,31	-4,96	-32,86	6,84	-7,39	-47,85	11,28	-5,67	-34,36	10,99	-8,01	-41,30	22,82
18	15-Jun-24	-4,31	-24,27	10,18	-6,87	-36,36	18,64	-8,40	-57,36	9,88	-6,42	-35,78	15,56	-7,00	-45,28	10,72	-9,18	-54,61	18,85
19	01-Jul-24	-7,64	-51,92	9,20	-8,68	-48,71	20,71	-8,83	-62,34	8,30	-11,35	-74,52	16,30	-8,58	-58,30	10,33	-10,20	-60,12	21,52
20	16-Jul-24	-9,12	-66,16	6,83	-11,12	-62,51	26,42	-9,21	-61,55	12,09	-10,88	-79,55	7,51	-10,70	-81,74	3,86	-13,40	-84,61	22,61
21	31-Jul-24	-6,30	-43,59	6,83	-6,57	-39,27	13,32	-8,02	-56,17	8,01	-6,83	-41,07	13,57	-6,88	-45,74	9,26	-8,46	-39,75	27,92
22	15-Aug-24	-6,28	-42,56	7,68	-6,67	-38,72	14,62	-7,33	-50,71	7,91	-7,37	-42,29	16,71	-9,32	-67,52	7,01	-7,63	-43,67	17,40
23	28-Aug-24	-6,84	-45,23	9,46	-9,85	-58,36	20,43	-8,49	-58,80	9,10	-7,39	-42,86	16,29	-8,62	-63,24	5,70	-9,89	-51,24	27,88
24	15-Sep-24	-10,72	-70,37	15,37	-11,03	-69,49	18,78	-8,79	-59,45	10,91	-13,14	-87,75	17,38	-9,71	-63,41	14,29	-12,40	-75,48	23,75
	Trung bình	**-6,27**	**-41,03**	**9,11**	**-7,16**	**-44,28**	**12,96**	**-7,29**	**-42,38**	**8,18**	**-8,68**	**-53,97**	**15,48**	**-8,08**	**-54,82**	**9,85**	**-9,73**	**-53,64**	**24,22**

3.2. ĐNKT địa phương trên LVSĐN

Kết quả phân tích TPĐV δD và δ^{18}O trong nước mưa trên LVSĐN, giá trị δD dao động từ -87,8 ±0,7‰ đến -0,8 ±0,9‰, trung bình là -47,9 ±0,7‰ và giá trị δ^{18}O dao động từ -13,40 ±0,06‰ đến -1,29 ±0,09‰, trung bình là -7,68 ±0,11‰. Từ kết quả phân tích trình bày trong Bảng 2, chúng tôi sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu có trọng số theo lượng mưa (PWLSR) Catherine E. Hughes và Jagoda Crawford đề xuất [22] để xây dựng ĐNKT địa phương cho từng trạm khí tượng (TKT) và cho LVSĐN, thu được các giá trị như sau:

Tại TKT Biên Hòa: Giá trị δD của nước mưa dao động từ -65,9 ± 1,1‰ đến -15,3 ± 0,8‰, trung bình là -39,1 ± 0,7‰ và giá trị δ^{18}O dao động từ -9,43 ± 0,18‰ đến -2,13 ± 0,15‰, trung bình là -5,93 ± 0,12‰. Giá trị d-ex dao động từ 6,8 ±0,7‰ đến 12,1 ±0,7‰, trung bình là 9,2 ± 1,1‰. ĐNKT địa phương Biên Hòa là $\delta D = 8{,}38\delta^{18}O + 12{,}15$; $R^2 = 0{,}99$.

Tại TKT Trị An: Giá trị δD của nước mưa dao động từ -85,1 ± 1,2‰ đến 4,1 ± 0,7‰, trung bình là -39,9 ± 0,7‰ và δ^{18}O giá trị dao động từ -11,97 ± 0,14‰ đến 0,76 ± 0,13‰, trung bình là -6,44 ± 0,12‰. Giá trị d-ex dao động từ 10,7 ± 1,6‰ đến 19,9 ± 0,6‰, trung bình là 15,1 ± 0.9‰. ĐNKT địa phương Trị An là $\delta D = 8{,}62\delta^{18}O + 20{,}21$; $R^2 = 0{,}97$.

Tại TKT Long Khánh: Giá trị δD của nước mưa dao động từ -64,7 ± 1,5‰ đến -28,0 ± 0,3‰, trung bình là -49,0 ± 1,7‰ và $\delta^{18}O$ giá trị dao động từ -9,59 ± 0,22‰ đến -4,45 ± 0,04‰, trung bình là -7,33 ± 0,13‰. Giá trị d-ex dao động từ 7,9 ± 0,5‰ đến 12,0 ± 2,3‰, trung bình là 9,6 ± 1,5‰. ĐNKT địa phương Long Khánh là $\delta D = 7{,}44\delta^{18}O + 5{,}45$; $R^2 = 0{,}99$.

Tại TKT Bảo Lộc: Giá trị δD của nước mưa dao động từ -69,3 ± 0,5‰ đến -7,8 ± 0,6‰, trung bình là -42,8 ± 0,5‰ và $\delta^{18}O$ giá trị dao động từ -9,63 ± 0,16‰ đến -2,47 ± 0,07‰, trung bình là -6,93 ± 0,01‰. Giá trị d-ex dao động từ 7,7 ± 2,0‰ đến 17,4 ± 1,1‰, trung bình là 12,7 ± 0,9‰. ĐNKT địa phương Bảo Lộc là $\delta D = 8{,}86\delta^{18}O + 18{,}16$; $R^2 = 0{,}98$.

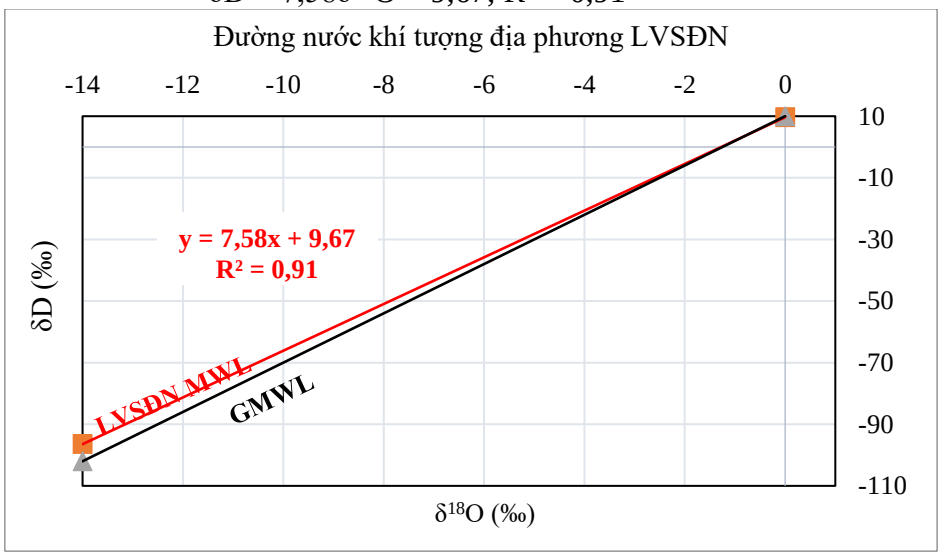
Tại TKT Liên Khương: Giá trị δD của nước mưa dao động từ -87,3 ± 0,1‰ đến -20,2 ± 0,9‰, trung bình là -50,6 ± 0,7‰ và $\delta^{18}O$ giá trị dao động từ -11,76 ±0,25‰ đến -3,95 ± 0,18‰, trung bình là -7,44 ± 0,01‰. Giá trị d-ex dao động từ 6,4 ± 1,1‰ đến 11,7 ± 0,6‰, trung bình là 8,8 ±1,3‰. ĐNKT địa phương Liên Khương là $\delta D = 8{,}79\delta^{18}O + 14{,}8$; $R^2 = 1{,}0$.

Tại TKT Đà Lạt: Giá trị δD của nước mưa dao động từ -76,9 ± 1,7‰ đến -30,2 ± 1,1‰, trung bình là -50,1 ± 1,0‰ và $\delta^{18}O$ giá trị dao động từ -12,64 ± 0,26‰ đến -6,47 ± 0,17‰, trung bình là -9,11 ± 0,15‰. Giá trị d-ex dao động từ 20,2 ± 0,8‰ đến 25,3 ± 0,5‰, trung bình là 22,9 ± 1,6‰. ĐNKT địa phương Đà Lạt là $\delta D = 7{,}53\delta^{18}O + 18{,}63$; $R^2 = 0{,}99$.

Các giá trị deuteri dư (d-ex) trung bình hàng năm trong nước mưa thấp hơn 10‰ là nguồn hơi nước từ đại dương [8]. Giá trị d-ex cao hơn 10‰ chứng tỏ nguồn độ ẩm gây mưa được bổ sung từ hơi nước trong khu vực [23]. Như vậy, nước mưa tại các trạm khí tượng Biên Hòa, Long Khánh và Liên Khương có giá trị d-ex thấp hơn 10‰ nên nước mưa có nguồn ẩm từ đại dương là chủ yếu. Tại các TKT Trị An, Bảo Lộc và Đà Lạt có giá trị d-ex lớn hơn 10‰ nên trong nước mưa ngoài nguồn ẩm của đại dương còn có bổ sung một nguồn ẩm khác trong khu vực như hơi nước: ao, hồ, sông ngòi và thảm thực vật trong khu vực, đặc biệt là nước mưa tại Đà Lạt. Riêng tại TKT Trị An, mặc dù nằm trong vùng Biên Hòa và Long Khánh nhưng có giá trị d-ex lớn hơn 10‰ là do TKT này nằm cạnh hồ Trị An là một hồ nhân tạo khá lớn với diện tích mặt hồ lên đến 300 km^2, nên có bổ sung một nguồn ẩm từ mặt hồ cho nước mưa trong khu vực dẫn đến giá trị d-ex cao hơn trạm Biên hòa và Long Khánh.

Kết quả phân tích TPĐV δD và $\delta^{18}O$ trên toàn LVSĐN, giá trị δD của nước mưa dao động từ -87,3 ± 0,14‰ đến 4,1 ± 0,7‰, trung bình là -45,3 ± 0,8‰ và giá trị $\delta^{18}O$ dao động từ -12,64 ± 0,26‰ đến 0,76 ± 0,13‰, trung bình là -7,22 ± 0,12‰. ĐNKT địa phương trên LVSĐN, như trong Hình 4 và tuân theo mô hình:

$$\delta D = 7{,}58\delta^{18}O + 9{,}67;\ R^2 = 0{,}91 \quad (3)$$



Hình 4. Đường nước khí tượng trong lưu vực sông Đồng Nai.

Các nghiên cứu về ĐNKT tại khu vực Tp. HCM, miền tây Nam bộ và Bangkok của các tác giả đã nghiên cứu trước đây, cụ thể như sau:

Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ, mã số: ĐTCB.13/20/TTHN "Nghiên cứu xác định tuổi, nguồn gốc và bổ cấp của các tầng chứa nước vùng Tây Nam Bộ" [24]:

+ Áp dụng phương pháp bình phương tối thiểu có trọng số theo lượng mưa (PWLSR), ĐNKT địa phương Tp. HCM, tuân theo mô hình:

$$\delta D = 7{,}32\delta^{18}O + 8{,}73;\ (R^2 = 0{,}90) \quad (4)$$

+ Áp dụng phương pháp bình phương tối thiểu có trọng số theo lượng mưa (PWLSR), ĐNKT địa phương Đồng bằng Nam bộ (ĐBNB), tuân theo mô hình:

$$\delta D = 7{,}33\delta^{18}O + 7{,}90;\ (R^2 = 0{,}93) \quad (5)$$

ĐNKT địa phương ở BangKok, Thái Lan (BK MWL), không khác biệt nhiều so với ĐNKT địa phương Tp.HCM và tuân theo mô hình [25]:

$$\delta D = 7{,}59\delta^{18}O + 6{,}29;\ (R^2 = 0{,}95) \quad (6)$$

Từ các phương trình ĐNKT địa phương tại Biên Hòa, Trị An, Long Khánh, Bảo Lộc, Liên Khương và Đà Lạt và ĐNKT trên LVSĐN có hệ số tương quan từ $R^2 = 0{,}91$ đến $R^2 = 1{,}0$ là khá chặt chẽ. So sánh với các nghiên cứu về ĐNKT địa phương của các tác giả trên, tại các phương trình từ (4) đến (6), cho thấy:

Hệ số góc của ĐNKT tại Long Khánh, TpHCM, ĐBNB và BangKok có giá trị gần tương đương nhau (trong giới hạn sai số thống kê), trung bình là 7,39 thấp hơn giá trị hệ số góc của ĐNKT toàn cầu là 8. Điều này là do nhiệt độ không khí ở 04 khu vực quan trắc là khá tương đồng và cao hơn so với nhiệt độ ở các vùng ôn đới. Giá trị d-ex của ĐNKT 04 khu vực này có giá trị d-ex thấp hơn (trung bình là 6,81) so với ĐNKT toàn cầu là 10.

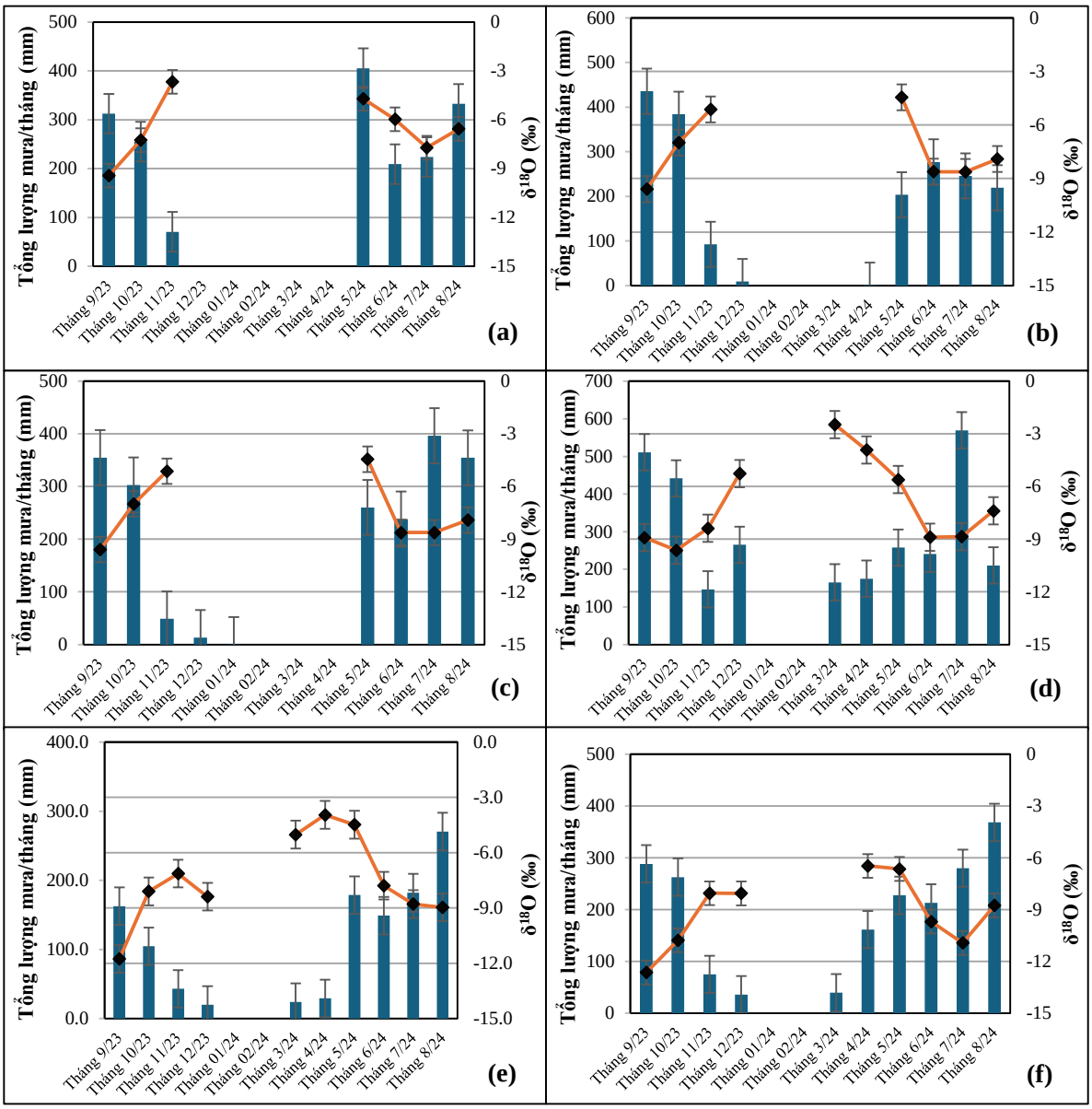
Hệ số góc của ĐNKT tại Biên Hòa, Trị An, Bảo Lộc, Liên Khương và Đà Lạt có giá trị gần tương đương nhau, ngoại trừ, ĐNKT tại Đà Lạt có giá trị thấp hơn một chút, trung bình là 8,44, cao hơn giá trị hệ số góc của ĐNKT toàn cầu là 8. Giá trị d-ex của ĐNKT 05 khu vực này đều cao hơn (trung bình là 16,79) so với ĐNKT toàn cầu là 10. Điều này có thể là do hiệu ứng mất cân bằng động học do nhiệt độ không khí cao hoặc do độ ẩm không khí thấp nên gây ra hiệu ứng bốc hơi trên đường mưa rơi xuống mặt đất. Có nghĩa là quá trình hình thành mưa ở các khu vực này xảy ra trong điều kiện cân bằng với hiệu ứng bay hơi nhỏ khi mưa. Giá trị d-ex hơi cao hơn ĐNKT toàn cầu là dấu hiệu cho thấy nước mưa được hình thành trong các khu vực này có sự tham gia từ sự bốc hơi nước gần bề mặt đất, tức là bằng cách ngưng tụ lại lượng mưa bốc hơi hoặc bốc hơi của nước mặt như: sông, suối, ao hồ và thảm thực vật trong khu vực này [26]. Hệ số góc cao hơn 8 cũng cho thấy những hạt mưa bị ảnh hưởng đáng kể bởi sự bốc hơi [7, 8, 27].

Như vậy, có sự khác biệt rõ ràng giữa các ĐNKT trên LVSĐN cũng như đối với Tp.HCM, ĐBNB và BangKok. Điều đó chứng tỏ các yếu tố khí hậu và địa lý đóng một vai trò quan trọng trong sự khác biệt giữa các ĐNKT địa phương. ĐNKT địa phương được tạo ra rất hữu ích trong việc đánh giá nguồn gốc và cơ chế bổ cập nước ngầm ở địa phương. Giá trị bổ cập cho nước ngầm có thể xác định được bằng cách tích hợp giá trị lượng mưa với các giá trị TPĐV δD và $\delta^{18}O$.

3.3. Ảnh hưởng của lượng mưa đến TPĐV của nước mưa

"Hiệu ứng lượng mưa", có nghĩa là hàm lượng đồng vị nặng của nước mưa với lượng mưa lớn nghèo hơn so với lượng mưa nhỏ. Kết quả phân tích TPĐV trong bảng 3 cũng cho thấy có bằng chứng về các giá trị đồng vị ^2H và ^{18}O nghèo hơn với lượng mưa lớn và các giá trị này được làm giàu khi lượng mưa thấp.

Đặc biệt, có thể thấy rằng vào những tháng mùa khô (từ tháng 11 đến tháng 4 năm sau) với lượng mưa thấp, giá trị giá trị đồng vị ^2H và ^{18}O ít âm hơn đáng kể so với những tháng mùa mưa (từ tháng 5 đến tháng 10) với lượng mưa lớn hơn. Điều này được thể hiện rõ đối với giá trị đồng vị ^{18}O, tại tất cả các điểm quan trắc (Hình 5).

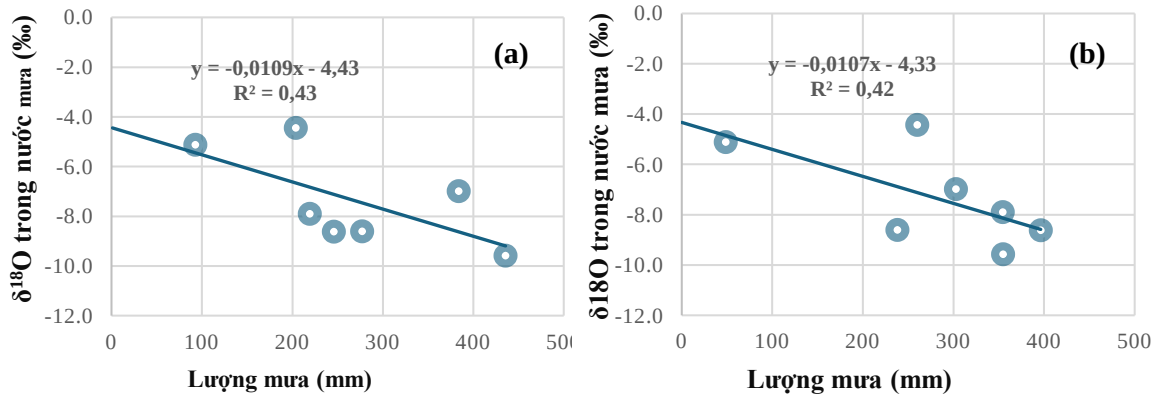


Hình 5. Hiệu ứng lượng của giá trị đồng vị $\delta^{18}O$ tại các trạm quan trắc: a) Trạm khí tượng Biên Hòa; b) Trạm khí tượng Trị An, c) Trạm khí tượng Long Khánh; d) Trạm khí tượng Bảo Lộc; e) Trạm khí tượng Liên Khương; f) Trạm khí tượng Đà Lạt

"Hiệu ứng lượng mưa" của đồng vị là hệ quả của quá trình ngưng tụ theo lý thuyết Raleigh và quá trình khuyếch tán hơi nước ra khỏi khí quyển. Mối tương quan của lượng mưa theo giá trị δ không phải là đường tuyến tính: về nguyên tắc, hệ số góc sẽ dốc hơn tại những nơi có độ cao cao hơn. Ở độ cao thấp, độ dốc ít hơn rõ rệt là sự đóng góp của quá trình khuyếch tán hơi nước ra khỏi khí quyển [28, 29]. Kết quả nghiên cứu tại TKT Trị An và Long Khánh được xem là cùng một vùng khí hậu có nhiệt độ, độ cao gần như nhau (lần lượt là: 28,1°C, 50 m và 27,8°C, 160 m) và có tổng lượng mưa trong thời kỳ nghiên cứu gần bằng nhau (lần lượt là: 1.868,9 mm và 1.969,4 mm) thì đều có mối quan hệ giữa giá trị $\delta^{18}O$ và P (lượng mưa) gần giống nhau lần lượt là: 0,0109‰ mm^{-1} và 0,0107‰ mm^{-1}. Hình 6 trình bày quan hệ giữa giá trị $\delta^{18}O$ và p (lượng mưa) của TKT Trị An và TKT Long Khánh, cụ thể như sau: Đối với TKT Trị An có hệ số góc là -0,0109‰, độ dốc là -4,43‰ và đối với TKT Long Khánh có hệ số góc là -0,0107‰, độ dốc là -4,33‰.

Mối tương quan giữa "lượng mưa" và $\delta^{18}O$ trong nước mưa tại TKT Trị An (Hình 6a) được mô tả bằng phương trình:

$$\delta^{18}O(‰) = -0{,}0109 \times P(mm) - 4{,}43;\ (R^2 = 0{,}43) \quad (7)$$



Hình 6. Mối tương quan giữa mưa và $\delta^{18}O$ trong nước mưa: (a) TKT Trị An; (b) TKT Long Khánh.

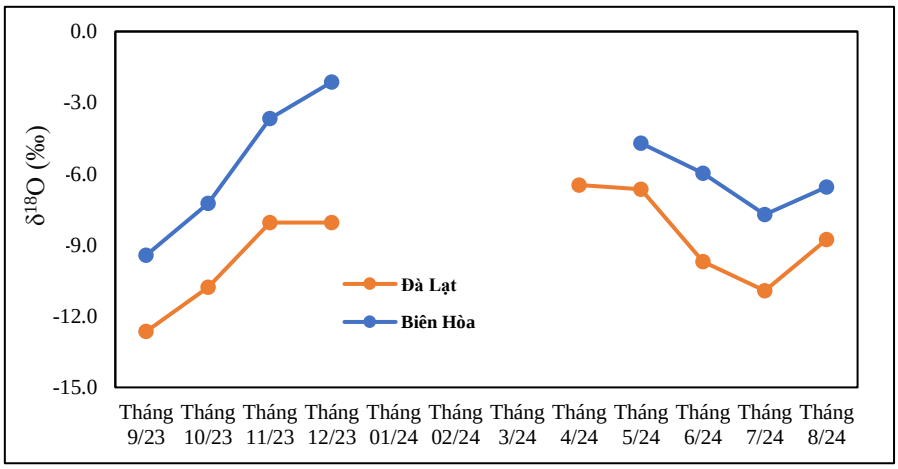
Mối tương quan giữa "lượng mưa" và $\delta^{18}O$ trong nước mưa tại TKT Long Khánh (Hình 6b) được mô tả bằng phương trình:

$$\delta^{18}O(‰) = -0{,}0107 \times P(mm) - 4{,}33;\ (R^2 = 0{,}42) \quad (8)$$

Tuy các phương trình (7) và (8) có hệ số tương quan thấp (< 0,5), nghĩa là thành phần đồng vị và P có tương quan không chặt chẽ, nhưng chiều hướng chung là thành phần đồng vị $\delta^{18}O$ đều nghèo đi khi lượng mưa tăng lên. Tóm lại, bất cứ khi nào xảy ra sự sai lệch lớn về lượng mưa so với bình thường, thì chúng đều có tác động đến dấu hiệu đồng vị của nước mưa.

3.4. Ảnh hưởng của độ cao đến TPĐV của nước mưa

Kết quả tính toán TPĐV δD và $\delta^{18}O$ trung bình trong các mẫu nước mưa theo độ cao được trình bày trong Bảng 3. Từ Bảng 3 cho thấy TPĐV ^{18}O trong nước mưa tại khu vực Đà Lạt (ở độ cao 1.500m so với mặt nước biển trung bình), nghèo hơn TPĐV $\delta^{18}O$ trong nước mưa tại khu vực Biên Hòa (ở độ cao 30m so với mặt nước biển trung bình), cụ thể xem trong Hình 7. Như vậy, càng lên cao TPĐV càng bị nghèo hơn so với ở dưới thấp, ở đây có cả sự tham gia của "Hiệu ứng lục địa", tuy nhiên, trong vùng hẹp từ Biên Hòa lên Đà Lạt thì "Hiệu ứng lục địa" là rất nhỏ, có thể coi là không đáng kể. Tương quan giữa TPĐV ^{18}O theo độ cao được trình bày trong Hình 8.

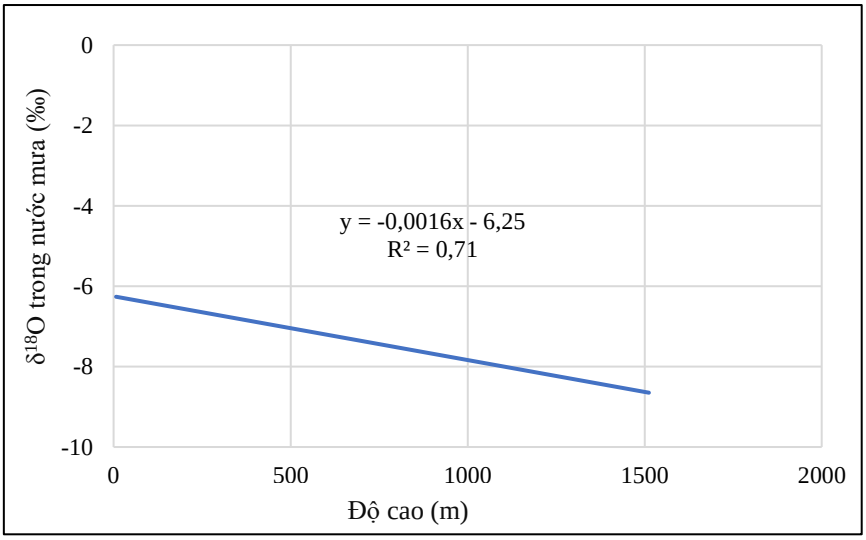


Hình 7. Giá trị đồng vị ^{18}O trong nước mưa tại TKT Biên Hòa và TKT Đà Lạt.

Bảng 3. TPĐV δD và $\delta^{18}O$ trung bình trong các mẫu nước mưa theo độ cao.

TT	Trạm khí tượng	Độ cao (m)	$\delta^{18}O$ (‰)	δD (‰)
1	Đà Lạt	1512	-9,11 ±0,15	-50,06 ±1,02
2	Liên Khương	949	-7,44 ±0,13	-50,62 ±0,74

TT	Trạm khí tượng	Độ cao (m)	$\delta^{18}O$ (‰)	δD (‰)
3	Bảo Lộc	832	-6,93 ±0,09	-42,77 ±0,47
4	Long Khánh	160	-7,33 ±0,13	-49,00 ±1,00
5	Trị An	50	-7,33±0,13	-49,00 ±1,05
6	Biên Hòa	30	-5,93 ±0,12	-39,14 ±0,67



Hình 8. Mối quan hệ giữa giá trị đồng vị ^{18}O theo độ cao.

Trong toàn bộ giai đoạn lấy mẫu từ tháng 9 năm 2023 đến tháng 8 năm 2024, hồi quy bình phương nhỏ nhất giữa giá trị trung bình $\delta^{18}O$ theo độ cao z (tính bằng m) ta được:

$$\delta^{18}O‰ = -(0{,}0016)z - (6{,}25);\ (R^2 = 0{,}71) \quad (7)$$

Mối quan hệ này gần đạt đến tương quan tuyến tính. Rõ ràng độ cao đã ảnh hưởng đến TPĐV của nước mưa tại LVSĐN, khi tăng độ cao lên 1km thì đồng vị $\delta^{18}O$ giảm đi 1,6‰. Trên toàn cầu, khi tăng độ cao lên 1 km thì TPĐV $\delta^{18}O$ trong nước mưa giảm từ -1,5 đến -5,0‰/km, trung bình là -2,8‰; mức trung bình ở châu Âu là -2,1‰/km [30]. Như vậy, mức giảm của đồng vị $\delta^{18}O$ theo độ cao tại LVSĐN thấp hơn mức giảm trung bình trên toàn cầu cũng như ở châu Âu.

4. Kết luận

TPĐV δ^2H và $\delta^{18}O$ của nước mưa tại các TKT thủy văn trong LVSĐN đã được đánh giá định lượng trong khoảng thời gian từ tháng 9/2023 đến hết tháng 8/2024. giá trị δD của nước mưa dao động từ -87,3 ± 0,14‰ đến 4,1 ± 0,7‰, trung bình là -45,3 ± 0,8‰ và giá trị $\delta^{18}O$ dao động từ -12,64 ± 0,26‰ đến 0,76 ± 0,13‰, trung bình là -7,22 ± 0,12‰, phụ thuộc vào mùa và độ cao khu vực.

Đã xây dựng được mô hình ĐNKT địa phương tại các TKT Biên Hòa, Trị An, Long Khánh, Bảo Lộc, Liên Khương, Đà Lạt và ĐNKT địa phương trên LVSĐN. ĐNKT tại các TKT Biên Hòa, Trị An, Long Khánh, Bảo Lộc, Liên Khương, Đà Lạt có hệ số tương quan R^2 từ 0,97 đến 1,0 là khá chặt chẽ; Riêng ĐNKT địa phương trên LVSĐN có hệ số tương quan $R^2 = 0{,}91$ và tuân theo mô hình: $\delta D = 7{,}58\delta^{18}O + 9{,}67$.

Hệ số góc của ĐNKT tại Long Khánh, TpHCM, ĐBNB và BangKok có giá trị gần giống nhau (trung bình là 7,39) thấp hơn giá trị hệ số góc của ĐNKT toàn cầu là 8. Giá trị d-ex của ĐNKT 04 khu vực này có giá trị d-ex thấp hơn (trung bình là 6,81) so với ĐNKT toàn cầu là 10.

Hệ số góc của ĐNKT tại Biên Hòa, Trị An, Bảo Lộc, Liên Khương và Đà Lạt có giá trị gần tương đương nhau, ngoại trừ, ĐNKT tại Đà Lạt có giá trị thấp hơn một chút (trung bình là 8,44), cao hơn giá trị hệ số góc của ĐNKT toàn cầu là 8. Giá trị d-ex của ĐNKT của các khu vực này (trung bình là 16,79) đều cao hơn so với ĐNKT toàn cầu là 10.

Điều đó chứng tỏ các yếu tố khí hậu và địa lý đóng một vai trò quan trọng trong sự khác biệt giữa các ĐNKT địa phương trên LVSĐN. Do đó cần lưu ý khi sử dụng ĐNKT toàn cầu để giải thích số liệu thực nghiệm trong các nghiên cứu nước dưới đất, biến đội khí hậu cũng như truy xuất nguồn gốc địa lý nông sản, thực vật.

TPĐV ^{18}O trong nước mưa có mối quan hệ tương đối tuyến tính với lượng mưa, cụ thể là ^{18}O nghèo hơn với lượng mưa lớn và các giá trị này được làm giàu khi lượng mưa thấp. Khi lượng mưa tăng lên 100mm thì TPĐV ^{18}O trong nước mưa giảm đi 1,07‰ đến 1,09‰.

TPĐV ^{18}O trong nước mưa có mối quan hệ với độ cao và gần đạt đến mối tương quan tuyến tính. Trong LVSĐN, khi cao độ tăng lên 100m thì đồng vị $\delta^{18}O$ giảm đi 0,16‰, thấp hơn mức giảm trung bình trên toàn cầu và ở châu Âu.

Kết quả nghiên cứu này rất hữu ích cho việc tính toán bổ cập nước mưa, nước mặt cho nước ngầm trong lưu vực sông Đồng Nai.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: B.Q.T., Đ.C.M.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: B.Q.T., Đ.C.M.; Lấy mẫu: N.T.T., Đ.C.M., N.V.M.; Phân tích mẫu: N.T.T, D.T.B.C.; Xử lý số liệu: B.Q.T., Đ.C.M., V.T.N.C.; Viết bản thảo bài báo: B.Q.T., Đ.C.M.; Chỉnh sửa bài báo: V.T.N.C.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của đề tài nghiên cứu khoa học công nghệ độc lập cấp Nhà nước, mã số ĐTĐL.CN-09/23. Bên cạnh đó, tập thể tác giả trân trọng cảm ơn sự giúp đỡ của lãnh đạo các trạm khí tượng Đà Lạt, Liên Khương, Bảo Lộc, Long Khánh, Trị An và Biên Hòa, Ban Lãnh đạo Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp trong quá trình khảo sát và thực hiện nghiên cứu này.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Gat, J.R. Oxygen and hydrogen isotopes in the hydrologic cycle. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* **1996**, *24*, 225–262.
2. Clark, I.D.; Fritz, P. Environmental Isotopes in Hydrology. Lewis Publishers, New York, 1997.
3. Gibson, J.J.; Edwards, T.W.D.; Birks, S.J.; St Amour, N.A.; Buhay, W.M.; McEachern, P.; Wolfe, B.B.; Peters, D.L. Progress in isotope tracer hydrology in Canada. *Hydrol. Process.* **2005**, *19(1)*, 303–327.
4. Gat, J.R. Isotope Hydrology: A study of the water cycle. Series on Environmental Science and Management. Imperial College Press, London. 2010. https://doi.org/10.1142/p027;
5. Yurtsever, Y.; Araguas, L.A. Environmental isotope applications in hydrology: An overview of the IAEA's activities, experiences, and prospects. Proceeding of Yokohama Symp, July 1993. IAHS Publ. No. 215. IAHS, Yokohama, 1993.
6. Criss RE. Principles of stable isotope distribution. Oxford University Press, Oxford. 1999.
7. Crig, H. Standards for reporting concentrations of deuterium and oxygen 18 in natural waters. *Science* **1961**, *133*, 1833–1834. https://doi.org/10.1126/science.133.3467.1833.
8. Dansgaard, W. Stable isotopes in precipitation. *Tellus* **1964**, *16(4)*, 436–468. https://doi.org/10.1111/j.2153-3490.1964.tb00181.x.
9. Ambach, W.; Dansgaard, W.; Eisner, H.; Møller, J. The altitude eKect on the isotopic composition of precipitation and glacier ice in the Alps. *Tellus* **1968**, *20*, 595–600.
10. Gonfiantini, R.; Roche, M.A.; Olivry, J.C.; Fontes, J.C.; Zuppi, G.M. The altitude eKect on the isotopic composition of tropical rains. *Chem. Geol*. **2001**, *181*, 147–167.

11. Clark, I.D.; Fritz, P. Environmental Isotopes in Hydrogeology; CRC Press Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL, USA; London, UK; New York, NY, USA, 1997, pp. 342.
12. Sappa, G.; Vitale, S.; Ferranti, F, Identifying Karst Aquifer Recharge Areas using Environmental Isotopes: A Case Study in Central Italy. *Geoscience* **2018**, *8*, 351.
13. Jasechko, S.; Lechler, A.; Pausata, F.S.R.; Fawcett, P.J.; Gleeson, T.; Cendón, D.I.; Galewsky, J.; LeGrande, A.N.; Risi, C.; Sharp, Z.D.; et al. Late-glacial to late-Holocene shifts in global precipitation $\delta^{18}O$. *Clim. Past* **2015**, *11*, 1375–1393.
14. Blisniuk, P.M.; Stern, L.A, Stable isotope paleoaltimetry: A critical review. *Am. J. Sci.* **2005**, *305*, 1033–1074.
15. Kelly, S.; Heaton, K.; Hoogewer, K.J. Tracing the geographical origin of food: The application of multi-element and multi-isotope analysis. *Trends Food Sci. Technol*. **2005**, *16*, 555–567.
16. Trường, T.V. Quy hoạch tài nguyên nước lưu vực sông Đồng Nai. Trực tuyến: https://siwrp.org.vn/tin-tuc/quy-hoach-tai-nguyen;
17. Lê, N.T. Đánh giá an ninh nguồn nước lưu vực sông đồng Nai trên cơ sở ứng dụng mô hình phân tích thứ bậc mở (FUZZY AHP). *Tạp chí khoa học và công nghệ thủy lợi* **2020**, *58*.
18. Trực tuyến: https://vi.wikipedia.org/wiki/Cao_nguy%C3%AAn.
19. Nguồn do Trung tâm khí tượng Quốc gia cung cấp.
20. IAEA/GNIP precipitation sampling guide.
21. IAEA. Laser spectroscopic analysis of liquid water samples for stable hydrogen and oxygen isotopes, 2009.
22. Catherine, E.H.; Crawford, J. A new precipitation weighted method for determining the meteoric water line for hydrological applications demonstrated using Australian and global GNIP data. *J. Hydrol.* **2012**, *464-465*, 344–351.
23. Wirmvem, M.J.; Ohba, T.; Kamtchueng, B.T.; Taylor, E.T.; Fantong, W.Y.; Ako, A.K. Variation in stable isotope ratios of monthly rainfall in the Douala and Yaounde cities, Cameroon: local meteoric lines and relationship to regional precipitation cycle. *Appl. Water Sci*. **2017**, *7(5)*, 2343–2356. https://doi.org/10.1007/s13201-016-0413-4.
24. Liên, T.T.B. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ, mã số: ĐTCB.13/20/TTHN "Nghiên cứu xác định tuổi, nguồn gốc và bổ cấp của các tầng chứa nước vùng Tây Nam Bộ", 2023, tr. 65.
25. Putthividhya.; Laonamsai, J. Hydrological assessment using stable isotope fingerprinting technique in the Upper Chao Phraya River basin. *Lowland Technol. Int.* **2017**, *19(1)*, 27–40.
26. Russell, J.M.; Johnson, T.C. The water balance and stable isotope hydrology of Lake Edward, Uganda-Congo. *J. Gt. Lakes Res*. **2006**, *32* 77–90. https://doi.org/10.3394/0380-1330(2006)32[77:TWBASI]2.0.CO;2.
27. Rozanski, K.; Ara Aragua´S-Aragua´S L.; Gonfiantini, R. Isotope patterns in modern global precipitation. In: Swart, P.K.; Lohmann, K.C.; McKenzie, J.; Savin, S. (eds) Climate Change in Continental Isotopic Records. Geophysical Monograph Series, American Geophysical Union, Washington DC, 1993, 78, pp. 1–36.
28. Salati, E.; Dall'olio, A.; Matsui, E.; Gat, J.R. Recycling of water in the Amazon Basin: an isotopic study. *Water Resour. Res*. **1979**, *15*, 1250–1258. https://doi.org/10.1029/WR015i005p01250.
29. Gat, J.R.; Matsui, E. Atmospheric water balance in the Amazon Basin: an isotopic evapotranspiration model. *J. Geo-Phys. Res*. **1991**, *96*, 13179–13188.

30. Poage, M.A.; Chamberlain, C.P. Empirical relationships between elevation and the stable isotope composition of precipitation and surface waters: Considerations for studies of paleoelevation change. *Am. J. Sci*. **2001**, *301*, 1–15.

Local meteoric water line (LMWL) in the Dong Nai river basin (DNRB) and the influence of precipitation and altitude on the isotopic composition (^{18}O) in rainwater

Tri Quang Bui*[1], Minh Cong Dang[1], Chi Bich Thi Duong[1], Cam Ngoc Thi Vo[1], Muoi Van Nguyen[2]

[1] Centre for Applications of Nuclear Technique in Industry, Vietnam Atomic Energy Institute; tribq@canti.vn; minhdc@canti.vn; chidtb@canti.vn; camvtn@canti.vn

[2] Central Vietnam Division of Water Resources Planning and Investigation, National Center for Water Resources Planning and Investigation; nguyenmuoi707@gmail.com

Abstract: The study of isotopic composition (IC) δD and $\delta^{18}O$ in precipitation is crucial for groundwater research in each area. This study presents the analysis of δD and $\delta^{18}O$ isotopic compositions in rainfall collected from six meteorological stations in the Đồng Nai River Basin (DNRB). The aim is to construct a Local Meteoric Water Line (LMWL) and assess the "Amount Effect" and "Altitude Effect" of $\delta^{18}O$ isotopes in precipitation across the DNRB. The findings are as follows: The LMWL for the DNRB follows the model $\delta D = 7.58\ \delta^{18}O + 9.67$ ($R^2 = 0.91$), with a lower slope and deuterium-excess (d-excess) value compared to the Global Meteoric Water Line (GMWL). However, it is consistent with local LMWLs observed in Ho Chi Minh City, the Mekong Delta, and Bangkok; $\delta^{18}O$ in precipitation decreases as rainfall increases. In the DNRB, the relationship between $\delta^{18}O$ values and precipitation (p) is -0.0109‰, with a slope of -4.43‰ for the Trị An station, and -0.0107‰, with a slope of -4.33‰ for the Long Khánh station; $\delta^{18}O$ in precipitation decreases with altitude at a rate of -0.16‰ per 100 meters of elevation. These results indicate that climatic and geographical factors significantly influence the isotopic variation of δD and $\delta^{18}O$ in precipitation within the DNRB.

Keywords: Local meteorological water lines; Altitude effect; Rainfall effect; Hydrogen isotopes; Oxygen isotopes.