

NGHIÊN CỨU PHÂN BIỆT NGUỒN GỐC ĐỊA LÝ CỦA GIỐNG XOÀI HÒA LỘC Ở VIỆT NAM

Đến tòa soạn: 16-01-2025

Trần Hà Minh Đức, Bùi Quang Minh, Lê Việt Anh, Bùi Thị Quỳnh, Nguyễn Hoàng Khánh,
Lê Văn Nhân*

¹ Trung tâm Nghiên cứu và Phát triển Công nghệ cao, Viện hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam,
Số 18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

* Email: levannhan.na@gmail.com

SUMMARY

RESEARCH ON DISTINGUISHING THE GEOGRAPHICAL ORIGIN OF HOA LOC MANGO VARIETY IN VIETNAM

Mango (*Mangifera indica* L.) is a tropical fruit of the Anacardiaceae family, origin in the Indo–Burma – Malay region and later spread to other regions. Vietnam is a major global mango producer; however, the expansion of international trade has increased the prevalence of low-quality and fraudulent products, emphasizing the necessity of origin identification for quality assurance and market integrity. This study investigated the traceability of Vietnamese mangoes, especially the valuable Hoa Loc mango variety, through an integrated analytical approach using principal component analysis (PCA) on inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) elemental concentrations. Mango samples from Tien Giang, Vinh Long, Dong Thap, and Can Tho provinces were evaluated for their elemental composition (Mg, Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Mo, Ag, Cd, Sb, Cs, Ba, Hg, and Pb). PCA of the elemental data showed significant differences between regions. Important elements for distinguishing mango samples included Mg, Cu, Rb, Sr, Cs. Notably, Can Tho samples had the highest Mg concentration (140.83 $\mu\text{g/g}$), while Tien Giang had the lowest concentration (28.30 $\mu\text{g/g}$). Cu concentration in Tien Giang also the lowest of the 4 provinces (0,21 \pm 0,02 $\mu\text{g/g}$) and Can Tho is the highest (1,96 \pm 0,04 $\mu\text{g/g}$). The above differences contributed to the assessment of the origin of mango samples. Other notable elements such as Al, Ti Cr, Fe were also analyzed and evaluated by province. The results of this study demonstrate the effectiveness of applying advanced analytical techniques in traceability and quality control of Hoa Loc mangoes in particular, and agricultural products in general.

Key words: Hoa Loc mango, *Mangifera indica* L., traceability, quality of mangoes.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Xoài (*Mangifera indica* L.) là một loại trái cây nhiệt đới thuộc họ đào lộn hột, có nguồn gốc từ vùng Ấn Độ - Miến Điện - Malaysia và kể từ đó đã được trồng ở nhiều khu vực khác nhau [1]. Việt Nam có trên 115.000 ha dành riêng cho việc canh tác xoài, sản xuất khoảng 969.000 tấn mỗi năm [2, 3]. Năm 2023, Việt Nam là một trong mười quốc gia canh tác xoài lớn nhất thế giới và là nguồn cung cấp xoài lớn thứ 13 cho thị trường Hoa Kỳ [4, 5]. Trong số 46 giống xoài được trồng ở Việt

Nam, xoài cát Hòa Lộc được đánh giá cao về giá trị thương mại [6]. Giống xoài ban đầu được trồng ở xã Hòa Lộc, huyện Giáo Đức, tỉnh Định Tường nay được trồng chủ yếu ở xã Hòa Hưng, huyện Cái Bè, tỉnh Tiền Giang với diện tích hơn 1.579 ha [7]. Được ưa chuộng trên thị trường trong nước và quốc tế, xoài cát Hòa Lộc đã trở nên phổ biến ở các quốc gia như Pháp, Hoa Kỳ, Canada, Úc, Nhật Bản, Singapore, Đài Loan và Trung Quốc [8]. Hợp tác xã Hòa Lộc ở huyện Cái Bè đã được Cục Sở hữu trí tuệ cấp giấy chứng

nhận bảo hộ thương hiệu cho sản phẩm xoài cát Hòa Lộc [7]. Xoài cát Hòa Lộc được chia thành 2 loại: Loại 1, chất lượng cao với mẫu mã đẹp phù hợp để xuất khẩu và hàng nội địa cao cấp; Loại 2, chất lượng tương đương nhưng hình thức không phù hợp để làm hàng xuất khẩu dành cho thị trường trong nước. Giá thị trường của loại 1 có thể cao hơn loại 2 từ 2,5 đến 8 lần trên mỗi cân [9]. Sự chênh lệch giá cả đáng kể này và nhu cầu tiêu dùng cao khiến xoài cát Hòa Lộc trở thành mục tiêu cho các hành vi lừa đảo bao gồm cả việc bán các sản phẩm giả, sản phẩm kém chất lượng. Điều này gây nguy hiểm đến sức khỏe người tiêu dùng và gây ảnh hưởng đến uy tín của nhãn hàng [10].

Truy xuất nguồn gốc thực phẩm là yếu tố then chốt để duy trì an toàn, chất lượng và tính xác thực của các sản phẩm thực phẩm [11]. Nó giúp người tiêu dùng xác minh lịch sử và nguồn gốc của thực phẩm, thúc đẩy lòng tin và tự tin vào chuỗi cung ứng thực phẩm [12]. Điều này đặc biệt quan trọng trong thương mại toàn cầu, khi các mặt hàng phải qua nhiều điểm xử lý và trung chuyển trước khi đến tay người tiêu dùng. Ủy ban Châu Âu về Môi trường, Y tế Công cộng và An toàn Thực phẩm đã xác định nước ép trái cây là một trong mười sản phẩm thực phẩm dễ bị gian lận nhất, nhấn mạnh vấn đề rộng hơn về thực phẩm giả mạo và sự cần thiết của các hệ thống truy xuất nguồn gốc hiệu quả để bảo vệ người tiêu dùng và đảm bảo tính toàn vẹn của sản phẩm [13]. Các kỹ thuật thống kê đã thể hiện được tính hiệu quả cao trong khả năng phân loại và đánh giá chất lượng thực phẩm, trong đó, phân tích thành phần chính (PCA) và phân tích cụm (CA) là những phương pháp được sử dụng phổ biến nhất [14-17]. Có 2 phương pháp phân loại là dựa trên tín hiệu phân tích (non-targeted analysis) và dựa trên hàm lượng các nguyên tố, hàm lượng chất

trong mẫu (targeted analysis) kết hợp chemometrics. Nesakumar và cộng sự phân loại sản phẩm củ cải dựa trên tín hiệu phân tích, kết hợp PCA với quang phổ FT-IR để đánh giá độ ẩm và xác định tuổi của củ cải đường với độ chính xác lên đến 97,5% [18]. Sự kết hợp của ICP-MS với các kỹ thuật đa biến xử lý số liệu phân tích cung cấp một công cụ mạnh mẽ để phân biệt giữa các nguồn gốc địa lý và giống thực vật khác nhau dựa trên hàm lượng nguyên tố (targeted analysis). Nghiên cứu này nêu bật sự kết hợp giữa các phương pháp đa biến xử lý số liệu phân tích để đưa ra kết quả có độ chính xác cao, cho thấy tiềm năng của phân tích đa biến trong truy xuất thực phẩm. Yan Wang và cộng sự đã sử dụng PCA kết hợp với ICP/MS/MS để phân biệt nguồn gốc địa lý của gạo dựa trên phân tích 30 nguyên tố [19]. Không chỉ vậy, các phương pháp tiếp cận này đã được áp dụng cho nhiều loại sản phẩm thực phẩm khác cho thấy tính linh hoạt của phân tích đa nguyên tố kết hợp với PCA. Ví dụ, việc phân biệt các nhãn hiệu hạt điều dựa trên phân tích thành phần nguyên tố của chúng, cho phép xác định các đặc điểm riêng của thương hiệu [15]. Tương tự, các vùng trồng cải thảo Trung Quốc (Packchoi) đã được phân biệt dựa vào hàm lượng nguyên tố, phản ánh sự ảnh hưởng của các hoạt động nông, công nghiệp theo vùng và điều kiện môi trường hỗ trợ xác thực sản phẩm và đảm bảo lòng tin của người tiêu dùng [15, 20, 21]. Nghiên cứu trên cho thấy mối tương quan giữa hàm lượng nguyên tố và nguồn gốc địa lý, nhấn mạnh giá trị của phân tích đa nguyên tố trong việc truy tìm nguồn gốc các sản phẩm nông nghiệp.

Nghiên cứu này nhằm mục đích đề ra một hướng tiếp cận để phân biệt giữa các vùng trồng xoài cát khác nhau, tận dụng các kỹ thuật tiên tiến như PCA và ICP - MS. Bằng cách tăng cường khả năng truy xuất nguồn

gốc và tính xác thực của xoài cát Việt Nam, đặc biệt là giống xoài cát Hòa Lộc.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

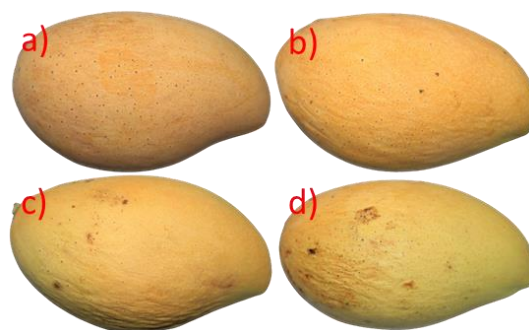
2.1. Hóa chất và thiết bị

Các thuốc thử sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm Axit Nitric 65% mua từ Merck, Darmstadt, Đức. Nước khử ion siêu tinh khiết có điện trở suất là 18,2 MΩ cm được lấy từ hệ thống lọc nước Milli-Q Plus (Milli-pore, Bedford, MA, Hoa Kỳ). Dung dịch chuẩn đa nguyên tố 100mg/L bao gồm Mg, Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Mo, Ag, Cd, Sb, Cs, Ba, Hg và Pb trong 5% HNO₃ (TraceCERT, Merck, Darmstadt, Đức) được cung cấp bởi Sigma-Aldrich (Missouri, Hoa Kỳ).

Cân phân tích 4 số Satorius (Satorius AG, Hoa Kỳ), thiết bị ICP/MS iCAP/TQ (Thermo Fisher Scientific, Bremen, Đức), thiết bị phá mẫu bằng vi sóng MARS6 (CEM, North Carolina, Hoa Kỳ), máy xay SEKA SK200 (Việt Nam).

2.2. Chuẩn bị mẫu

Tám mươi mẫu quả xoài Hòa Lộc được thu thập từ nhiều đồn điền khác nhau ở bốn tỉnh riêng biệt: (1) xã Hòa Hưng, huyện Cái Bè, tỉnh Tiền Giang, (2) xã Quới Thiện, huyện Vũng Liêm, tỉnh Vĩnh Long, (3) xã Mỹ Thọ, huyện Cao Lãnh, tỉnh Đồng Tháp và (4) xã Thới Hưng, huyện Cờ Đỏ, Tp. Cần Thơ, mỗi vùng đóng góp 20 mẫu (Hình 1). Các mẫu được lựa chọn để đảm bảo tính đồng nhất về thời kỳ chín sau thu hoạch (lựa những quả được thu hoạch trong ngày). Quá trình chuẩn bị bao gồm việc loại bỏ hạt và vỏ một cách có hệ thống khỏi mỗi quả xoài. Sau đó, các mẫu thịt quả tươi được đông hóa bằng máy xay để đảm bảo thành phần đồng nhất. Các mẫu đã đồng nhất sau đó được bảo quản trong thời gian 3 ngày ở 4°C chuẩn bị cho quá trình phân tích.



Hình 1. Mẫu quả xoài cát thu thập từ từng vùng (a: Tiền Giang, b: Vĩnh Long, c: Đồng Tháp, d: Cần Thơ)

Cân 0,2 g mỗi mẫu (chính xác đến số thứ 3 sau dấu phẩy) vào ống phá mẫu teflon, thêm chính xác 4 mL HNO₃ 65% và để ống yên trong 8 giờ. Tiến hành phá mẫu bằng lò vi sóng MARS6 với quy trình chuẩn dành cho thực phẩm tươi được cài đặt theo Bảng 1[22].

Bảng 1. Chương trình nhiệt độ của thiết bị phá mẫu MARS6

1	Nguồn điện	(900 - 1050 W)
2	Thời gian tăng nhiệt	15 phút
3	Thời gian duy trì	15 phút
4	Nhiệt độ	200 °C
5	Thời gian làm nguội	20 phút

Các mẫu sau khi được vô cơ hóa bằng lò vi sóng ở dạng dung dịch trong suốt không màu, được định mức lên 50mL bằng HNO₃ 5% trước khi đưa đi phân tích bằng thiết bị ICP/MS. Thiết bị ICP/MS được cài đặt theo giá trị bảng 2.

Bảng 2. Thông số cài đặt thiết bị ICP/MS

Thông số	Giá trị
Giá trị RF	1400 W
Tốc độ dòng khí plasma	15 L/phút
Tốc độ dòng khí mang	1,05 L/phút
Nhiệt độ buồng phun	2 °C
Số lần chạy	3
Số lần quét	10

Thông số	Giá trị
Các đồng vị được phân tích	²⁴ Mg, ²⁷ Al, ⁴⁷ Ti, ⁵¹ V, ⁵² Cr, ⁵⁵ Mn, ⁵⁶ Fe, ⁵⁹ Co, ⁶⁰ Ni, ⁶³ Cu, ⁶⁶ Zn, ⁷⁵ As, ⁸⁵ Rb, ⁸⁸ Sr, ⁹⁸ Mo, ¹⁰⁷ Ag, ¹¹¹ Cd, ¹²¹ Sb, ¹³³ Cs, ¹³⁷ Ba, ²⁰² Hg, và ²⁰⁸ Pb

Mỗi mẫu được phân tích 3 lần, kết quả đo được thể hiện dưới dạng giá trị trung bình và khoảng tin cậy (2 x độ lệch chuẩn)

2.3. Phân tích thống kê đa biến

Kết quả đo hàm lượng kim loại trong mẫu xoài được phân tích thành phần chính (Principal Component Analysis – PCA) trên phần mềm XLSTAT (Lumivero, Denver, Hoa Kỳ). Những kim loại có hàm lượng nhỏ hơn giá trị phát hiện (LOD) sẽ được đặt giá trị bằng 1/2 giá trị LOD giúp phần mềm nhận diện số liệu thống kê.

Phân tích thống kê đa biến được sử dụng để thu thập một số kết quả: biểu đồ tần suất sàng lọc mô tả mức độ đóng góp của các thành phần chính vào mô hình PCA, đồ thị trị số của các thành phần chính.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả phân tích

Kết quả trung bình trong bảng 3 cho thấy mẫu xoài cát Hòa Lộc trồng tại Cần Thơ có thành phần Mg cao nhất (140,83±9,49 µg/g). Hàm lượng Al thay đổi theo từng vùng, trong đó, Cần Thơ có hàm lượng cao nhất (0,33±0,02 µg/g) và không phát hiện Al trong mẫu từ Vĩnh Long. Hàm lượng Ti chỉ được phát hiện trong mẫu ở Vĩnh Long và Cần Thơ, trong đó hàm lượng phát hiện trong mẫu Cần Thơ rất nhỏ với hàm lượng không đồng đều còn hàm lượng trong mẫu Vĩnh Long đồng nhất hơn (0,63± 0,01 µg/g). Hàm lượng V trong mẫu tại Tiền Giang và Cần Thơ có giá trị nhỏ nhất (0,01± 0,01 µg/g) và Vĩnh

Long có giá trị nồng độ lớn nhất (0,06±0,01 µg/g). Vĩnh Long đồng thời cũng có hàm lượng Cr lớn nhất (2,43±0,03µg/g) và hàm lượng Cr của mẫu Tiền Giang thấp nhất (0,07±0,01 µg/g). Hàm lượng Fe của các mẫu từ 4 tỉnh thành có sự chênh lệch lớn về nồng độ, hàm lượng Fe tại Vĩnh Long cao nhất (9,91±1,93 µg/g) trong khi đó từ Tiền Giang đặc biệt thấp (0,31±0,02 µg/g). Coban tại Đồng Tháp và Cần Thơ có giá trị tương đương nhau và cao nhất (0,06± 0,02 µg/g) và Tiền Giang nhỏ nhất (0,02±0,01 µg/g). Hàm lượng Ni trong mẫu Cần Thơ cao vượt trội so với các mẫu khác (5,17± 0,08 µg/g) trong khi các mẫu khác đều có hàm lượng <1 µg/g với mẫu từ Tiền Giang có giá trị nhỏ nhất (0,52±0,06µg/g). Mẫu Tiền Giang cũng có giá trị Cu nhỏ nhất (0,21±0,02 µg/g) và là vùng duy nhất có hàm lượng Cu <1 µg/g, mẫu tại Cần Thơ có hàm lượng Cu cao nhất (1,96±0,04µg/g). Cần Thơ cũng là khu vực duy nhất phát hiện kim loại Sr và Ag trong mẫu với hàm lượng lần lượt là 0,98±0,02 µg/g và 0,08±0,01 µg/g. Hàm lượng Mo trong mẫu Đồng Tháp và Cần Thơ có hàm lượng trung bình bằng nhau và cao nhất (0,19±0,01 µg/g) nhưng lại không phát hiện được trong mẫu từ Vĩnh Long. Trong các mẫu từ Tiền Giang không phát hiện được Cd mà Cs, tuy nhiên, mẫu từ Vĩnh Long chứa hàm lượng Cs cao nhất (0,39±0,01 µg/g) và Cần Thơ có hàm lượng Cs cao nhất (0,03±0,01 µg/g). Thủy ngân là nguyên tố duy nhất không thể phát hiện trong toàn bộ quá trình đo mẫu.

Những kết quả phân tích trên thể hiện sự khác biệt về nồng độ khoáng chất trong từng mẫu xoài cát thu hoạch tại các tỉnh khác nhau, cho thấy thành phần khoáng chất trong đất, nước và các yếu tố môi trường nuôi trồng có thể ảnh hưởng đến quá trình hấp thụ nguyên tố ở xoài cát [23]. Do đó, những mẫu quả xoài có hàm

lượng Mg, Fe và Zn cao có khả năng xuất xứ từ vùng trồng có môi trường giàu các nguyên tố kể trên. Sự khác biệt này có thể xuất hiện do phương pháp nuôi trồng, phân bón đa dạng này xuất hiện do hàm lượng nguyên tố trong đất, nước tưới tiêu tại từng vùng khác nhau, đồng thời các phương pháp trồng trọt (kỹ thuật tưới tiêu, phân bón) cũng góp phần thay đổi hàm lượng nguyên tố trong môi trường dẫn đến thay đổi hàm lượng trong các mẫu xoài. Các phương pháp canh tác hữu cơ, hạn chế sử dụng hóa chất tổng hợp có thể dẫn đến thành phần nguyên tố khác nhau so với các phương pháp canh tác thông thường [24]. Những phương pháp này không chỉ ảnh hưởng đến hàm lượng các chất dinh dưỡng trong đất, mà còn ảnh

hưởng đến hoạt động vi sinh và chất lượng tổng quan của đất, tác động đến khả năng hấp thụ của cây. Ngoài ra, các yếu tố khách quan như thời tiết, khí hậu, lượng mưa có thể ảnh hưởng đến thành phần khoáng chất trong đất dẫn đến thay đổi khoáng chất trong xoài [25, 26]. Các thành phần dinh dưỡng trong đất có thể bị rửa trôi tại những khu vực có lượng mưa cao dẫn đến hàm lượng chất trong quả thấp và nơi có lượng mưa thấp có sự tích tụ muối và khoáng chất sẽ nồng độ khoáng chất trong quả cao hơn [27]. Sự khác biệt về hàm lượng chất do môi trường này là nhân tố để giải thích dữ liệu các nguyên tố vi lượng và phân loại địa lý của mẫu xoài.

Bảng 3. Giá trị trung bình của 22 kim loại trong mẫu xoài từ 4 tỉnh (đơn vị: $\mu\text{g/g}$, Hg đơn vị: $\mu\text{g/kg}$)

Kim loại	Tiền Giang	Vĩnh Long	Đồng Tháp	Cần Thơ	QC1 (10 $\mu\text{g/g}$)	QC2 (25 $\mu\text{g/g}$)	QC3 (100 $\mu\text{g/g}$)
Mg	28,30±3,08	95,95±7,16	103,55±3,62	140,83±9,49	10,33	26,22	104,44
Al	0,08±0,01	<LOD*	0,03±0,01	0,33±0,02	9,99	25,47	103,04
Ti	<LOD	0,63±0,01	<LOD	0,01±0,01	10,21	23,99	97,36
V	0,01±0,01	0,06±0,01	0,04±0,01	0,01±0,02	9,76	24,75	99,08
Cr	0,07±0,01	2,43±0,03	1,98±0,01	0,66±0,02	10,30	26,11	100,32
Mn	2,43±0,04	1,18±0,02	3,40±0,07	1,85±0,01	10,37	25,76	95,88
Fe	0,31±0,02	9,91±1,93	5,23±3,17	0,64±1,80	9,57	24,34	104
Co	0,02±0,01	0,04±0,01	0,06±0,02	0,06±0,02	10,11	24,77	97,72
Ni	0,52±0,06	0,96±0,05	0,66±0,01	5,17±0,08	9,83	25,08	101,24
Cu	0,21±0,02	1,42±0,10	1,31±0,05	1,96±0,04	9,87	23,97	97,84
Zn	2,05±0,19	1,32±0,14	4,07±0,11	5,99±0,06	10,00	26,73	100,88
As	<LOD	0,01±0,01	0,01±0,01	0,04±0,01	10,41	24,43	96,68
Rb	1,04±0,43	0,87±0,01	2,99±0,10	4,42±0,16	9,53	25,31	95,8
Sr	<LOD	<LOD	<LOD	0,98±0,02	9,94	24,46	101,88
Mo	0,08±0,02	<LOD	0,19±0,01	0,19±0,01	10,26	25,22	95,96
Ag	<LOD	<LOD	<LOD	0,08±0,01	9,89	24,17	99
Cd	<LOD	0,39±0,01	0,21±0,01	0,05±0,02	9,77	24,79	104,88
Sb	0,33±0,02	<LOD	0,13±0,01	0,51±0,01	10,02	23,95	99,16
Cs	<LOD	0,01±0,01	0,02±0,01	0,03±0,01	10,44	26,16	104,64
Ba	0,07±0,01	0,28±0,04	0,17±0,26	0,95±1,13	9,86	25,44	101,76
Hg($\mu\text{g/kg}$)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	10,22	26,03	104,12
Pb	0,05±0,01	0,04±0,01	0,05±0,01	0,05±0,01	10,05	24,85	99,4

Kết quả phân tích hàm lượng kim loại trong các mẫu xoài cát Hòa Lộc cho thấy các mẫu đều đạt tiêu chuẩn an toàn thực phẩm của Bộ Y Tế (QCVN 8-2:2011/BYT)

Từ kết quả đo các chuẩn kiểm tra của máy ta thấy độ đúng của thiết bị rất tốt, khoảng tuyến tính rộng. Sai số tương đối từ -4,7% đến 4,88% cho thấy phương pháp ICP – MS có độ đúng cao

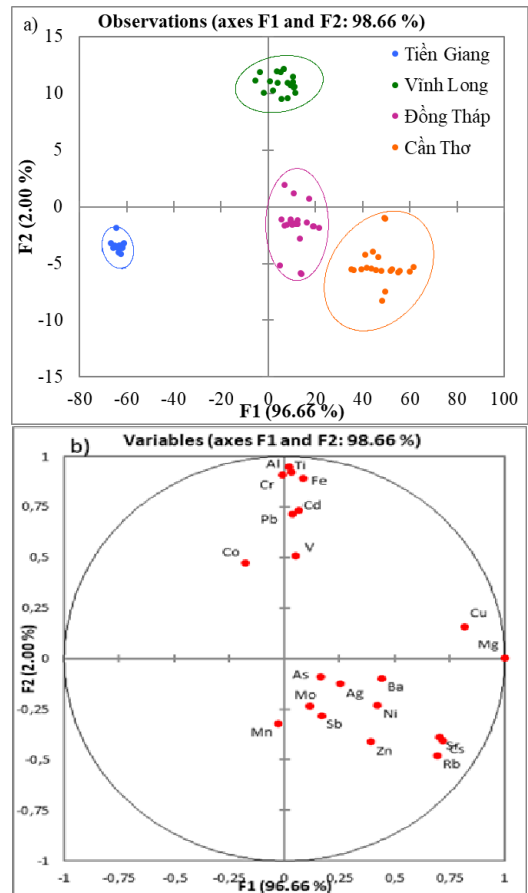
*LOD: Giới hạn phát hiện của phương pháp ($3 \times$ độ lệch chuẩn = 0,003 $\mu\text{g}/\text{kg}$). Giá trị trung bình và sai số của mẫu xoài được tính dựa trên giá trị trung bình khi đo 3 lần của mẫu

3.2. Phân tích thành phần chính

Để áp dụng phân tích thành phần chính với bộ số liệu, những giá trị phân tích không phát hiện được làm giá trị 1/2 LOD (0,0015 $\mu\text{g}/\text{kg}$). Đồng thời số liệu phân tích hàm lượng Hg không xuất hiện trong bất kỳ mẫu nào, do đó chúng tôi đã loại bỏ Hg khỏi bộ số liệu phân tích thành phần chính.

Đồ thị trị số của các thành phần chính (Hình 2) cho thấy sự phân tách của từng nhóm mẫu đồng thời biểu diễn sự đóng góp của các biến vào khả năng tách biệt nhóm mẫu khác nhau và mối quan hệ giữa các biến hàm lượng. Hình 2a cho thấy sự phân bố dựa trên thành phần kim loại của các mẫu thu thập từ Đồng Tháp và Cần Thơ được phân bố cạnh nhau, điều này thể hiện có sự tương đồng giữa thành phần chính của mẫu xoài đến từ 2 khu vực này nhưng sự tương đồng này không đủ lớn để khiến 2 bộ mẫu chồng lên nhau. Bảng 3 cho thấy sự tương đồng về hàm lượng của một số chất thành phần có khả năng dẫn đến 2 cụm Đồng Tháp và Cần Thơ phân bố liền kề nhau. Mặc dù Đồng Tháp và Cần Thơ có Co, Cs và Mo sở hữu giá trị tương đương dẫn đến sự phân bố

của hai vùng này trên hình 1a gần nhau, tuy nhiên sự khác biệt trong tổ hợp của các chất còn lại đã giúp phân tách giá trị của 2 khu vực này. Hình 2b) biểu diễn độ đóng góp của từng trọng số (loading) của các PC. Những nguyên tố có trọng số $> 0,4$ được xem xét là giá trị có đóng góp vào PC và những nguyên tố có giá trị càng gần giá trị ± 1 sẽ có ảnh hưởng lớn hơn so với những biến có giá trị cận gốc tọa độ. Dựa trên phương sai tích lũy F1 96,66% tổng giá trị phân tích của thuật toán, ta thấy 8 nguyên tố Mg, Cu, Rb, Sr, Ba, Ni, Zn và Cs là những biến ảnh hưởng đến khả năng phân tích của thuật toán PCA. Nếu dựa theo giá trị phân tích F2 chiếm 2% thành phần, ta có Al, Ti, Fe, Cr và Cd là những biến có ảnh hưởng trong 2% thành phần.



Hình 2. a) Biểu đồ phân tán của các mẫu xoài theo vị trí địa lý; b) biểu đồ phân tán theo biến

Phương sai của PC1 có chiếm phần lớn tỉ lệ tổng phương sai và lớn hơn PC2 rất nhiều. Điều này cho thấy sự tách biệt về nguồn gốc của các mẫu xoài cát Hòa Lộc từ 1 yếu tố. Hình 2b cho thấy nồng độ Mg, Cu, Sr, Rb và Cs trong các mẫu xoài cát Hòa Lộc có thể giúp đánh giá, phân biệt nguồn gốc xuất xứ của các mẫu thí nghiệm. Đặc biệt Mg có giá trị hoàn toàn khác biệt ở từng vùng. Theo Shen [28], hàm lượng Mg và Mo hấp thụ bởi cây trồng tỉ lệ thuận với hàm lượng chất trong đất trồng. Thêm vào đó, khả năng hấp thụ Mo và Mg được tăng và giảm khả năng hấp thụ Zn, Cu, Mn và Fe trong môi trường pH cao [23].

Hiệu quả của PCA trong việc phân tích và giảm khối lượng tập số liệu xoài đã được chứng minh trong các nghiên cứu khác [15, 29]. Thuật toán đã cắt giảm khối lượng lớn dữ liệu và trực quan hóa thành từng nhóm rõ ràng theo từng khu vực. Trong nghiên cứu của chúng tôi, các mẫu của Tiền Giang có phân bố gần nhau hơn so với các mẫu từ các khu vực khác, cho thấy ít biến động hơn trong các mẫu của Tiền Giang do diện tích canh tác nhỏ hơn so với các tỉnh khác. Sự đồng nhất này dẫn đến ít khác biệt hơn về thành phần kim loại giữa các mẫu từ Tiền Giang [7]. Dựa trên hình 1a, ta có thể thấy sự phân bố dựa trên thành phần kim loại của các mẫu thu thập từ Đồng Tháp và Cần Thơ được phân bố cạnh nhau, điều này thể hiện có sự tương đồng giữa thành phần chính của mẫu xoài đến từ 2 khu vực này nhưng sự tương đồng này không đủ lớn để khiến 2 bộ mẫu chồng lên nhau. Bảng 3 cho thấy sự tương đồng về hàm lượng của một số chất thành phần có khả năng dẫn đến sự liên kết của kết quả phân tích. Mặc dù Đồng Tháp và Cần Thơ có Co, Cs và Mo sở hữu giá trị tương đương dẫn đến sự phân bố của hai vùng này trên Hình 1a gần nhau.

Truy xuất nguồn gốc thực phẩm là một quy trình phân tích xác thực thông tin về nguồn gốc và quy trình sản xuất thực phẩm [30]. Lĩnh vực này đã và đang phát triển do nhận thức người tiêu dùng ngày càng tăng và nhu cầu về các phương pháp đáng tin cậy để đảm bảo chất lượng và tính xác thực của thực phẩm. Các chỉ số sử dụng để truy xuất mới bao gồm các nguyên tố kim loại quý, đất hiếm, hồ sơ chuyển hóa kết hợp học máy và phân tích cảm quan. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã nghiên cứu nhiều nguyên tố khác nhau bao gồm các nguyên tố thiết yếu như Mg, Fe, Zn và các nguyên tố vi lượng như As, Pb, Hg bằng thiết bị ICP – MS để xác định nồng độ của chúng trong từng mẫu xoài. Các mẫu xoài được thu thập từ 4 tỉnh riêng biệt nhằm tạo sự đa dạng của tập dữ liệu. Các yếu tố như thành phần đất, tập quán canh tác và điều kiện môi trường đã được xem xét nhằm đánh giá ảnh hưởng đến thành phần nguyên tố của xoài. Các phương pháp truy xuất hiện tại thường dựa vào chuỗi cung ứng, bao gồm thẻ vật lý, giấy tờ và quản lý chuỗi giữa cửa hàng và nhà cung cấp [31]. Những phương pháp này có thể bị làm giả dạng bằng cách làm giả tem mác, giấy tờ hoặc trao đổi sản phẩm sau khi được dán nhãn [32]. Tuy nhiên, với dữ liệu thu thập từ nghiên cứu này, chúng tôi đề xuất bổ sung những dữ liệu hóa lý vào cơ sở dữ liệu chung để người tiêu dùng, cửa hàng cũng như nhà cung cấp và cơ quan quản lý có thể truy cập và theo dõi. Cơ sở dữ liệu này sẽ cung cấp một dụng cụ đáng tin cậy để xác minh tính xác thực và nguồn gốc của mặt hàng xoài, giúp bảo vệ người tiêu dùng khỏi các hành vi lừa đảo và đảm bảo uy tín của nhà sản xuất.

4. KẾT LUẬN

Phân tích nguyên tố bằng ICP – MS đã cho thấy sự khác biệt về thành phần nguyên tố trong xoài từ các vùng khác

nhau, tạo điều kiện phân biệt khu vực xuất xứ. Các nguyên tố như Cu, Mg, Cs, Rb, Sr là những nguyên tố chính dẫn đến khả năng phân loại, làm nổi bật tầm quan trọng của thành phần nguyên tố trong việc phân loại sản phẩm thực phẩm. Thống kê đa biến phân tích thành phần chính đã dùng để xử lý bộ dữ liệu đa chiều, phức tạp một cách hiệu quả. Phương pháp này đã chuyển đổi dữ liệu thành một tập hợp các thành phần chính, giúp phân loại và so sánh sự khác biệt trong bộ thành phần kim loại của mẫu xoài. Năm nguyên tố Cu, Mg, Cs, Rb và Sr là những yếu tố đóng góp lớn trong quá trình phân biệt các mẫu, là minh chứng cho khả năng giảm chiều và xác định biến số cần thiết của PCA. Bằng cách áp dụng PCA vào tập dữ liệu, nghiên cứu này nhấn mạnh tầm quan trọng của các kỹ thuật thống kê tiên tiến trong việc quản lý và diễn giải các tập dữ liệu phức tạp, đóng góp cho công cuộc kiểm soát chất lượng, đánh giá và nền khoa học thực phẩm.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được hỗ trợ từ nguồn kinh phí thực hiện của nhiệm vụ khoa học và công nghệ cấp Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam: Nghiên cứu ứng dụng công nghệ trí tuệ nhân tạo trong đánh giá chất lượng nông sản, mã số: CN4000.02/22-25.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Yadav, D. and S. Singh, *Mango: History origin and distribution*. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 2017. **6**(6): p. 1257 - 1262.
2. Muñoz-Redondo, J.M., et al., *Tracing the geographical origin of Spanish mango (*Mangifera indica* L.) using stable isotopes ratios and multi-element profiles*. Food Control, 2021. **125**: p. 107961.
3. Han, B. and H. Nghia, *Applying advanced production, improving the value of mangoes*, in Nhân Dân. 2023.
4. TradeImeX, *Top 10 Mango Exporter Countries in 2023*, in *Top 10 Mango Exporter Countries in 2023*, TradeImeX, Editor. 2024, TradeImeX ® Info Solution Pvt. Ltd: India.
5. Vietnam+. *Vietnam 13th largest mango supplier for US*. 2024 [cited 2024 May 22]; Available from: <https://en.vietnamplus.vn/vietnam-13th-largest-mango-supplier-for-us-post283212.vnp>.
6. ROOTS, *Mango Export. What Types of Mangoes Does Vietnam Have for Export?*, in *ROOTS organic store and juice bar*. 2022: ROOTS organic store and juice bar.
7. TienGiangelectronicinformationportal, *Promote the Hoa Loc mango brand*, in *Tien Giang electronic information portal*. 2020: Tien Giang electronic information portal.
8. Scott, S., *Agro-food system transitions, short food supply chains, and sustainability: Implications for regional development Vietnam*. 2006.
9. Anh, N., *Hoa Loc mango specialties dropped in price*, in *The people Police Newspaper*. 2021, The people Police Newspaper: The people Police Newspaper.
10. Kaufmann, A., *Multivariate Statistics as a Classification Tool in the Food Laboratory*. Journal of AOAC INTERNATIONAL, 2020. **80**(3): p. 665-675.
11. Prashar, D., et al., *Blockchain-Based Traceability and Visibility for Agricultural Products: A Decentralized Way of Ensuring Food Safety in India*. Sustainability, 2020. **12**(8): p. 3497.
12. Montecchi, M., K. Plangger, and M. Etter, *It's real, trust me! Establishing supply chain provenance using*

- blockchain. *Business Horizons*, 2019. **62**(3): p. 283-293.
13. Abid, H.M.R., et al., *Quantitative and qualitative approach for accessing and predicting food safety using various web-based tools*. *Food Control*, 2024. **162**: p. 110471.
 14. Nunes, C.A., et al., *The use of statistical software in food science and technology: Advantages, limitations and misuses*. *Food research international*, 2015. **75**: p. 270-280.
 15. Nguyen-Quang, T., et al., *Classification of Vietnamese Cashew Nut (*Anacardium occidentale* L.) Products Using Statistical Algorithms Based on ICP/MS Data: A Study of Food Categorization*. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2023. **2023**(1): p. 1465773.
 16. Chapman, J., et al., *Application of cluster analysis in food science and technology*, in *Mathematical and Statistical Applications in Food Engineering*. 2020, CRC Press. p. 68-73.
 17. Templ, M. and B. Templ, *Statistical analysis of chemical element compositions in food science: problems and possibilities*. *Molecules*, 2021. **26**(19): p. 5752.
 18. Nesakumar, N., et al., *Analysis of Moisture Content in Beetroot using Fourier Transform Infrared Spectroscopy and by Principal Component Analysis*. *Scientific Reports*, 2018. **8**(1): p. 7996.
 19. Yan Wang, X.Y., Linan Liu, Junmei Ma, Sufang Fan, Yan Zhang, Qiang Li, *Multielement Principal Component Analysis and Origin Traceability of Rice Based on ICP-MS/MS*. *Journal of Food Quality*, 2021. **2021**: p. 12.
 20. Bui, Q.M., et al., *Multivariate Statistical Analysis for the Classification of Sausages Based on Physicochemical Attributes, Using Attenuated Total Reflectance-Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR) and Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS)*. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2024. **2024**(1): p. 1329212.
 21. Nguyen-Quang, T., G. Do-Hoang, and M. Truong-Ngoc, *Multielement Analysis of Pakchoi (*Brassica rapa* L. ssp. *chinensis*) by ICP-MS and Their Classification according to Different Small Geographical Origins*. *J Anal Methods Chem*, 2021. **2021**: p. 8860852.
 22. CEM Corporation, *Digestion of Grapefruit - MARS6*. CEM Corporation.
 23. Liu, Z., et al., *Effects of Soil Type on Trace Element Absorption and Fruit Quality of Pepper*. *Frontiers in Plant Science*, 2021. **12**.
 24. Flavie, M.K.C., et al., *Morphological and Physical Diversity of Mangoes (*Mangifera indica* L.) of Local Varieties Found in Noun and Lekie Localities (Cameroon)*. *Sustainable Agriculture Research*, 2022. **12**(1): p. 1.
 25. Adak, T., et al., *Soil organic carbon, dehydrogenase activity, nutrient availability and leaf nutrient content as affected by organic and inorganic source of nutrient in mango orchard soil*. *Journal of soil science and plant nutrition*, 2014. **14**(2): p. 394-406.
 26. Harhash, M.M., M.M. Ahamed, and W.F. Mosa, *Mango performance as affected by the soil application of zeolite and biochar under water salinity stresses*. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022. **29**(58): p. 87144-87156.
 27. Migliavacca, D., E.C. Teixeira, M. Pires, and J. Fachel, *Study of chemical elements in atmospheric precipitation in South Brazil*. *Atmospheric environment*, 2004. **38**(11): p. 1641-1656.
 28. Shen, H., *Influence of soil microelement on plant*. *Forestry Science and Technology Information*, 2010. **42**(4): p. 12-14.

29. Demšar, U., et al., *Principal Component Analysis on Spatial Data: An Overview*. Annals of the Association of American Geographers, 2013. **103**(1): p. 106-128.
30. Danezis, G., A. Tsagkaris, V. Brusica, and C. Georgiou, *Food Authentication: State of the Art and Prospects*. Current Opinion in Food Science, 2016. **10**.
31. Lödige, M. *Trace Your Food Back to its Source*. 2019 [cited 2024 May 23]; Available from: <https://www.foodunfolded.com/article/trace-your-food-back-to-its-source>.
32. VTV24, *Exposing the trick of producing fake alcohol "40 times profit"*, in *Anti-smuggling, counterfeiting, consumer protection*. 2016: VTVNews.