

ẢNH HƯỞNG CỦA LIỀU LƯỢNG LÂN ĐẾN NĂNG SUẤT VÀ CHẤT LƯỢNG CAM XÃ ĐOÀI TẠI TỈNH THANH HÓA

Nguyễn Hữu Hiền*, Nguyễn Thị Bích Thủy

Viện Nông nghiệp và Tài nguyên, Trường Đại học Vinh

*Tác giả liên hệ: hiennh@vinhuni.edu.vn

Nhận bài: 29/07/2025 Hoàn thành phản biện: 15/09/2025 Chấp nhận bài: 19/09/2025

TÓM TẮT

Lân (P) là nguyên tố đa lượng có vai trò thiết yếu đối với cây ăn quả có múi, đặc biệt P đóng vai trò quan trọng trong quá trình ra hoa, đậu quả và cải thiện năng suất, chất lượng đối với cây ăn quả có múi. Nghiên cứu nhằm xác định liều lượng P phù hợp đảm bảo nâng cao năng suất và chất lượng cam. Thí nghiệm được thực hiện từ tháng 12/2023-12/2024 tại xã Bãi Trành, huyện Như Xuân, tỉnh Thanh Hóa trên giống cam xã Đoài 7 tuổi trồng. Thí nghiệm được bố trí theo khối ngẫu nhiên hoàn toàn (RCBD) 3 lần lặp lại với 6 công thức phân bón khác nhau, liều lượng P_2O_5 lần lượt là 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 và 1,0 kg/cây/năm. Các chỉ tiêu theo dõi bao gồm chỉ tiêu hóa tính đất trước và sau thí nghiệm, hàm lượng dinh dưỡng trong lá cam, các yếu tố cấu thành năng suất và năng suất cam, chất lượng quả. Kết quả nghiên cứu cho thấy lượng P_2O_5 ở các mức khác nhau đã ảnh hưởng đến chỉ tiêu hóa tính trong đất và hàm lượng dinh dưỡng trong lá của cam. Bón P_2O_5 với ở mức 0,4 kg /cây/năm cho năng suất tăng 31,4 % so với không bón P_2O_5 , đồng thời nâng cao độ brix (12,6%), chỉ số brix/axít (28,6) và hàm lượng vitamin C (411,7 mg/L) trong dịch quả cam xã Đoài. Kết quả nghiên cứu này là cơ sở thực tiễn quan trọng để bổ sung vào quy trình thâm canh cây cam cho địa phương

Từ khóa: Cam xã Đoài, Chất lượng, Năng suất, P_2O_5

EFFECT OF PHOSPHORUS FERTILIZER APPLICATION RATES ON YIELD AND FRUIT QUALITY OF XA DOAI ORANGE IN THANH HOA PROVINCE

Nguyen Huu Hien*, Nguyen Thi Bich Thuy

School of Agriculture and Natural Resources, Vinh University

*Corresponding author: hiennh@vinhuni.edu.vn

Received: 29/07/2025

Revised: 15/9/2025

Accepted: 19/09/2025

ABSTRACT

Phosphorus (P) is a macronutrient essential for citrus fruit trees, playing a crucial role in flowering, fruit setting, and improving both the yield and quality of citrus. This study aimed to determine the optimal phosphorus fertilizer rates to maximize the yield and quality of orange. The experiment was conducted from December 2023 to December 2024 in Bai Tranh commune, Nhu Xuan district, Thanh Hoa province, using 7-year-old Xa Doai orange trees. The experiment was arranged in a completely randomized block design (RCBD) with three replications and six different fertilizer treatments, using P_2O_5 at rates of 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, and 1.0 kg/tree/year, respectively. The data collected included soil nutrient content before and after the experiment, nutrient concentration in leaves, orange yield, and fruit quality. The results indicated that varying levels of phosphorus fertilizer significantly affected soil nutrient content and the leaf nutrient content. Specifically, fertilization at 0.4 kg P_2O_5 /tree/year increased yield by 31.4% compared to no-phosphorus application. This optimal application also led to an increase in brix (12.6%), brix/acid ratio (28.6), and vitamin C (411.7 mg/L) content of the orange juice. The findings of this study provide an important practical foundation for improving the local orange cultivation.

Keywords: Phosphorus, Quality, xa Doai orange, Yield

1. MỞ ĐẦU

Cây cam (*Citrus sinensis* L. Osbeck) là cây có giá trị kinh tế cao được trồng ở nhiều nước trên thế giới trong đó có Việt Nam. Theo số liệu thống kê năm 2023, tổng diện tích cây có múi của Việt Nam đạt 161.614 ha, trong đó diện tích cây cam đạt 72.198 ha, chiếm 44,7% tổng diện tích cây có múi (FAOSTAT, 2025). Tuy nhiên, diện tích trồng cam đang có xu hướng giảm, năm 2023 giảm 2.413 ha so với năm 2022 (FAOSTAT, 2025). Giống cam xã Đoài là giống có giá trị kinh tế cao và được người tiêu dùng ưa chuộng bởi vỏ mỏng, ruột vàng óng, mọng nước, thịt quả giòn tan và vị ngọt đậm đà đặc trưng. Tuy nhiên, trong những năm gần đây, diện tích, năng suất và chất lượng cam xã Đoài tại nhiều vùng trồng như Nghệ An, Hà Tĩnh có xu hướng giảm sút, có thể bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố, trong đó một phần do kỹ thuật canh tác và chế độ dinh dưỡng và phân bón (Cao Văn Chí, 2023).

Trong những năm gần đây cây cam đang được phát triển mạnh tại tỉnh Thanh Hóa với diện tích sản xuất năm 2022 đạt 1.200 ha được trồng tập trung tại các huyện Như Xuân, Thạch Thành, Cẩm Thủy, Ngọc Lặc, Thường Xuân, Thọ Xuân. Như Xuân là huyện có diện tích trồng cam lớn nhất tỉnh với 240 ha (Hoa Mai, 2023). Mặc dù cây cam đã được đầu tư phát triển tại Thanh Hóa nhưng vẫn thiếu các nghiên cứu chuyên sâu về nhu cầu dinh dưỡng của cây, đặc biệt là ảnh hưởng của lượng phân P đến năng suất và chất lượng của giống cam xã Đoài trong điều kiện thổ nhưỡng và khí hậu đặc thù của tỉnh. Việc xác định liều lượng phân P tối ưu không chỉ giúp cây cam xã Đoài đạt năng suất và chất lượng cao nhất, mà còn góp phần sử dụng phân bón hiệu quả, giảm chi phí sản xuất và tăng lợi nhuận cho người nông dân, từ đó hướng tới một nền nông nghiệp bền vững.

Trong sản xuất nông nghiệp, dinh dưỡng đóng vai trò cốt lõi quyết định đến sinh trưởng, phát triển, năng suất và chất lượng nông sản. Trong số các nguyên tố dinh dưỡng đa lượng, lân (P) là một yếu tố không thể thiếu, tham gia vào hầu hết các quá trình sinh hóa quan trọng của cây trồng như quang hợp, hô hấp, vận chuyển năng lượng, hình thành hạt và quả (Khan và cs., 2023). P đặc biệt quan trọng đối với sự phát triển bộ rễ, ra hoa, đậu quả và nâng cao chất lượng nông sản (Pang và cs., 2024). Tuy nhiên, việc bón phân P không đúng liều lượng có thể dẫn đến nhiều hệ quả tiêu cực như thiếu P sẽ làm cây kém phát triển, giảm năng suất và chất lượng. Ngược lại, thừa P có thể gây chai cứng đất, ảnh hưởng đến việc hấp thu các nguyên tố khác, lãng phí tài nguyên và gây ô nhiễm môi trường (Mogashane và cs., 2025). Theo kết quả nghiên cứu của Nguyễn Hữu Hiền và cs. (2019), các vùng trồng cam huyện Nghĩa Đàn và Quỳnh Hợp tỉnh Nghệ An có hàm lượng P cao hơn 10 lần so với ngưỡng phù hợp cho cây cam, vấn đề này không chỉ gây ra lãng phí phân bón mà còn ảnh hưởng xấu đến tính chất đất.

Vì vậy, nghiên cứu này được thực hiện nhằm xác định liều lượng P thích hợp nhất đạt năng suất và chất lượng của cam xã Đoài cao. Kết quả nghiên cứu sẽ góp phần đề xuất quy trình bón phân P hợp lý, nâng cao hiệu quả sản xuất, đảm bảo phát triển bền vững giống cam đặc sản này.

2. NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu và phạm vi nghiên cứu

Thí nghiệm sử dụng giống cam xã Đoài (*Citrus sinensis* L.) ghép trên gốc bưởi chua. Đây là giống có chất lượng tốt đang được trồng phổ biến tại các tỉnh Nghệ An, Hà Tĩnh và một số tỉnh phía Bắc. Vườn cam được trồng năm 2017 (7 tuổi tại thời điểm nghiên cứu). Thí nghiệm được thực hiện

trên đất xám feralit tại Xã Bãi Trành, huyện Như Xuân, tỉnh Thanh Hóa (105,41°N, 19,47°E). Nghiên cứu được thực hiện từ tháng 12 năm 2023 đến tháng 12 năm 2024.

Phân bón: Thí nghiệm sử dụng phân lân nung chảy loại 50 kg/bao, thành phần chính của phân lân bao gồm: 15% P₂O₅, 14% MgO, 26% CaO, 24% SiO₂ ngoài ra còn có các chất vi lượng khác như : Fe, Al, Mn, Mo, Cu, Co Các loại phân khác như đạm urê Phú Mỹ (46% N), kali clorua (60% K₂O), phân bò ủ hoai mục Quê Lâm (hàm lượng chất hữu cơ 22%, tỷ lệ C/N 11%, N tổng số 3%, axit humic 4%, độ ẩm 25%) và vôi bột.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Bố trí thí nghiệm

Thí nghiệm được bố trí trên cây cam xã Đoài, trồng năm trồng 2017, với mật độ trồng 500 cây/ha, khoảng cách: cây × cây là 4 m, hàng × hàng 5m.

Thí nghiệm gồm 6 lượng phân lân được bố trí theo khối ngẫu nhiên hoàn toàn (RCBD) với 3 lần lặp lại, diện tích mỗi lần lặp lại là 180 m² (12 m rộng × 15 m dài) tương đương với 9 cây/lần lặp lại, mỗi lần lặp lại chọn 5 cây có cùng độ tuổi và tán cây đồng đều. Tổng số cây tham gia thí nghiệm là 90 cây. Tổng diện tích thí nghiệm là 1.800 m².

Bảng 1. Công thức thí nghiệm

Công thức	Lượng phân bón (kg P ₂ O ₅ /cây)	Lượng phân bón (kg P nung chảy/ha)
T1 (Đối chứng)	0	0
T2	0,2	100
T3	0,4	200
T4	0,6	300
T5	0,8	400
T6	1,0	500

Nền: Ngoài lượng P₂O₅ bón theo công thức, các công thức từ T1 – T5 bón trên nền 40 kg phân bón ủ hoai mục /cây, 2 kg vôi bột/cây, 250 g N/cây, 120 g K₂O/cây.

Thời gian bón và tỷ lệ bón: Toàn bộ lượng phân được chia làm 4 lần bón trong năm. Lần 1: Bón sau thu hoạch (ngày 18 tháng 1) gồm 30% N, 20% K₂O và 100% P₂O₅ + 100% phân hữu cơ +100 % vôi bột (vôi bột được bón trước 20 ngày sau đó mới bón các loại phân khác) . Lần 2: Bón thúc quả (ngày 28 tháng 3) gồm 40% N, 30% K₂O. Lần 3 gồm. Bón thúc quả (ngày 2 tháng 8) gồm 40% N, 30% K₂O. Lần 4: Bón thúc quả chín (ngày 01 tháng 10) 20% K₂O còn lại.

Kỹ thuật bón: Rạch hàng xung quanh tán cây có độ sâu từ 10 đến 15 cm, cách góc tối thiểu 1m, sau đó bón phân và lấp một lớp đất mỏng lên trên.

2.2.2. Phương pháp lấy mẫu và phân tích

Phương pháp lấy mẫu và phân tích đất: Mẫu đất được lấy 2 lần từ vườn thí

thí nghiệm, lần thứ nhất trước khi bón phân lân (tháng 12 năm 2023) và lần thứ hai sau thí nghiệm (tháng 12 năm 2024). Mẫu được lấy ở 4 vị trí trực tiếp xung quanh tán cây, cách góc cam tối thiểu 1 m, ở độ sâu từ 0 đến 20 cm bằng ống lấy mẫu. Mỗi lần lặp lại lấy 05 mẫu đất, sau đó trộn đều để tạo thành một mẫu hỗn hợp. Mỗi công thức thí nghiệm có 03 mẫu đất, tổng số mẫu phân tích trước thí nghiệm là 18 mẫu và sau thí nghiệm là 18 mẫu. Mẫu đất được hong khô tự nhiên trong phòng thí nghiệm, nghiền và được sàng lọc qua rây có đường kính 2 mm. Các chỉ tiêu hóa tính đất được xác định gồm: pH đất (1:1,25 đất: nước) được đo bằng máy đo pH. Hàm lượng kali (K), canxi (Ca) và magiê (Mg) trao đổi được chiết xuất bằng NH₄OAc 1 M ở pH 7,0. Hàm lượng K trao đổi được phân tích bằng quang kế ngọn lửa. Hàm lượng Ca và Mg trao đổi được phân

tích bằng máy quang phổ hấp thụ nguyên tử. Hàm lượng P (P_2O_5) để tiêu được chiết xuất bằng NH_4F 0,03 M trong HCl 0,10 M, nồng độ P_2O_5 được phân tích theo phương pháp molybdenum blue (Jones, 2001; Jones, 2003).

Phương pháp lấy mẫu và phân tích lá: Mẫu lá được lấy 02 lần trước và sau thí nghiệm (tháng 12 năm 2023 và tháng 12 năm 2024). Các mẫu lá được từ các lần lặp lại sau đó trộn lại với nhau tạo thành mẫu hỗn hợp. Tổng số mẫu được lấy phân tích trước thí nghiệm là 18 mẫu và sau thí nghiệm là 18 mẫu lá. Mẫu lá được lấy từ các cây của mỗi công thức, độ tuổi lá từ 3 đến 5 tháng, lá được lấy ở vị trí thứ 3 hoặc thứ 4 trên cành không có hoa và quả, mỗi cây lấy 20 đến 25 lá. Sau đó, mẫu lá được đóng gói trong bao giấy có đánh dấu, đưa vào tủ sấy ở nhiệt độ $65 \div 70^\circ C$, xay các mẫu lá và sàng lọc qua tấm màng có đường kính 1 mm. Phương pháp phân tích mẫu lá: Cân 0,8 đến 1g mẫu lá vào bình tam giác thêm 10 ml hỗn hợp HNO_3 : $HClO_4$ tỷ lệ 2:1. Mẫu được công phá ở nhiệt độ $200 \div 2500C$ trong 2 đến 3 giờ cho đến khi tan hoàn toàn, để nguội ở nhiệt độ phòng. Hàm lượng N tổng số (N) được phân tích bằng phương pháp Kjeldahl. Hàm lượng P được phân tích bằng phương pháp Vanadomolybdate, hàm lượng K được phân tích bằng phương pháp quang phổ kế ngọn lửa. Hàm lượng của Ca, Mg được phân tích bằng phương pháp quang phổ hấp thụ nguyên tử (Jones, 2001).

Các chỉ tiêu nghiên cứu về năng suất: Quả cam được thu hoạch vào ngày 18 tháng 12 năm 2024 là thời điểm quả chín. Trên mỗi cây nghiên cứu, tiến hành đếm tổng số quả/cây. Mỗi cây chọn 10 quả ở tầng giữa tán theo 4 hướng của cây để cân khối lượng trung bình quả (gam) và đo đường kính quả (cm). Năng suất thực thu được tính bằng cách cân toàn bộ số quả thương phẩm trên

cây (kg).

Các chỉ tiêu về chất lượng: Mẫu quả được thu hoạch và bảo quản ở nhiệt độ phòng ($20 \div 25^\circ C$) để phân tích, sau đó mỗi quả cam được vắt riêng rẽ để lấy dịch quả bằng thiết bị vắt cam. Xác định tỷ lệ nước ép quả (%) (Tỷ lệ nước ép quả (%) = Khối lượng nước ép/khối lượng quả x 100), độ dày vỏ quả (cm) được đo bằng thước kẹp panme (cắt đôi quả cam ở phần giữa và đo bằng thước kẹp ở 4 hướng và tính trung bình), tổng số chất rắn hòa tan (TSS, Brix) (%) được đo bằng máy khúc xạ kế cầm tay AS ONE (Nhật Bản), hàm lượng axit tổng số (TA) được xác định bằng cách chuẩn độ 50 ml nước ép với NaOH 0,1 M và tính bằng cách cho tất cả các axit trong nước ép đều tương đương với axit citric (Boland, 1995). Hàm lượng vitamin C (mg/l) được xác định bằng phương pháp chuẩn độ iốt được mô tả trong TCVN11168 : 2015 (Lấy 10ml dịch quả cho vào bình tam giác 250ml, cho 5ml dung dịch HCl 5%, thêm vài giọt hồ tinh bột 1% lắc nhẹ sau đó chuẩn độ bằng I_2 0,01N tới khi bắt đầu xuất hiện màu xanh).

Phân tích số liệu bao gồm kiểm định phân tích phương sai (ANOVA) theo thiết kế RCBD với 6 công thức và 3 lần lặp lại để so sánh trung bình các công thức bằng kiểm định Duncan ở mức ý nghĩa 0,05 bằng phần mềm IRRISTAT ver 5.0. Mối tương quan giữa hàm lượng P trong đất và trong lá, giữa hàm lượng P trong lá và năng suất cam được phân tích sau khi đánh giá tính chuẩn của dữ liệu bằng kiểm định Pearson.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của liều lượng lân đến các chỉ tiêu hóa tính trong đất

Các chỉ tiêu hoá học trong đất được phân tích trước và sau khi thí nghiệm và được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Ảnh hưởng của liều lượng lân đến một số chỉ tiêu hóa tính trong đất trồng cam trước và sau khi bón phân

Lượng P ₂ O ₅ (kg/cây)	pH _{H2O}		P ₂ O ₅ (mg/kg)		K ⁺ (mg/kg)		Ca ²⁺ (mg/kg)		Mg ²⁺ (mg/kg)	
	Trước	Sau	Trước	Sau	Trước	Sau	Trước	Sau	Trước	Sau
0	5,21 ^a	5,27 ^b	15,1 ^a	12,5 ^c	102,8 ^a	98,8 ^b	638,5 ^a	716,8 ^b	76,3 ^a	79,7 ^b
0,2	5,37 ^a	5,52 ^b	14,4 ^a	18,3 ^c	112,6 ^a	104,7 ^b	665,5 ^a	812,9 ^a	79,8 ^a	87,1 ^b
0,4	5,34 ^a	6,11 ^a	14,8 ^a	24,8 ^d	95,9 ^a	125,8 ^a	654,8 ^a	839,5 ^a	77,4 ^a	102,5 ^a
0,6	5,56 ^a	6,08 ^a	14,2 ^a	32,5 ^c	93,6 ^a	108,5 ^b	683,2 ^a	816,6 ^a	82,6 ^a	100,6 ^a
0,8	5,35 ^a	6,12 ^a	14,7 ^a	40,3 ^b	101,5 ^a	105,9 ^b	667,9 ^a	821,3 ^a	76,2 ^a	105,8 ^a
1,0	5,61 ^a	6,13 ^a	14,2 ^a	48,5 ^a	93,7 ^a	102,7 ^b	683,8 ^a	839,3 ^a	81,9 ^a	106,3 ^a
LSD _{0,05}	0,8	0,5	2,7	6,2	20,6	15,9	45,8	43,8	8,4	14,5
CV%	12,1	8,5	9,7	6,9	13,7	13,3	9,4	17,6	5,2	11,8

Trong cùng 1 cột, các số có ít nhất 1 chữ cái giống nhau thì không sai khác nhau (p<0,05)

Trước lúc thí nghiệm giá trị pH_{H2O} đất dao động từ 5,21 - 5,61, nhưng không có sự sai khác có ý nghĩa giữa các công thức. Sau thí nghiệm giá trị pH_{H2O} đất có xu hướng tăng lên ở các công thức có bón P₂O₅, đạt cao ở các công thức có bón từ 0,4 đến 1,0 kg/cây và có sự sai khác có ý nghĩa so với không bón P₂O₅ và bón ở mức 0,2 kg/cây. Giá trị pH đất nằm trong ngưỡng phù hợp cho cây cam sau khi bón P₂O₅ (5,5 đến 6,5) (Maneepong, 2008). Sau thí nghiệm, giá trị pH_{H2O} đất tăng lên ở các công thức có bón P₂O₅, điều này là do trong thành phần lân bón có chứa Ca và Mg (26 % CaO và 14 % MgO), ngoài ra do bón 2 kg vôi bột/cây, do vậy đã góp phần cải thiện độ chua của đất tạo điều kiện thuận lợi hơn cho cây trồng hấp thu dinh dưỡng. Theo kết quả nghiên cứu của Li và cs. (2020) được thực hiện trên đất chua, nhấn mạnh tầm quan trọng của P trong điều kiện này. Một số loại phân lân có thể có phản ứng hơi kiềm hoặc các phản ứng của lân trong đất có thể tiêu thụ một phần ion H⁺, làm tăng pH.

Hàm lượng lân (P₂O₅) dễ tiêu trong đất trước thí nghiệm dao động từ 14,2 đến 15,1 mg/kg và không có sự sai khác có ý nghĩa giữa các công thức. Hàm lượng P₂O₅ dễ tiêu sau thí nghiệm có xu hướng tăng lên và dao động từ 12,5 đến 48,5 mg/kg. Các công thức có bón P₂O₅ từ mức 0,4 đến 1,0 kg/cây có hàm lượng P₂O₅ dễ tiêu cao hơn và có sự sai khác có ý nghĩa so với công

thức không bón và mức bón 0,2 kg/cây. Công thức bón 1,0 kg P₂O₅/cây có hàm lượng P₂O₅ dễ tiêu đạt cao nhất và có sự sai khác có ý nghĩa so với các công thức còn lại. Theo kết quả nghiên cứu của Maneepong (2008), hàm lượng P₂O₅ dễ tiêu phù hợp cho cây ăn quả có múi dao động từ 5 đến 15 mg/kg. Như vậy, ở các công thức không bón P₂O₅, bón ở mức 0,2 và 0,4 kg/cây có hàm lượng P₂O₅ dễ tiêu nằm trong ngưỡng phù hợp cho cây cam. Các công thức bón P₂O₅ ở mức 0,6; 0,8 và 1,0 kg/cây có hàm lượng P₂O₅ dễ tiêu cao hơn ngưỡng phù hợp đối với cây cam. Kết quả nghiên cứu của Nguyễn Hữu Hiền và cs. (2019), cho thấy các mẫu đất phân tích trên vùng trồng cam ở địa bàn huyện Quỳnh Hợp và Nghĩa Đàn (cũ) có hàm lượng P₂O₅ dễ tiêu cao hơn ngưỡng phù hợp cho cây cam, kết quả điều tra cũng cho thấy người dân sử dụng phân tổng hợp NPK để bón cho cây cam, điều này dẫn đến hiện tượng thừa P trong vùng trồng cam. Việc dư thừa P có thể dẫn đến một loạt các vấn đề sinh thái - môi trường bất lợi như giảm đa dạng sinh học, phá vỡ chu trình P và suy thoái các chức năng của hệ sinh thái (Tian và cs., 2022).

Hàm lượng K trao đổi thí nghiệm dao động từ 93,6 đến 112,6 mg/kg và không có sự sai khác có ý nghĩa giữa các công thức. Hàm lượng K trao đổi có xu hướng tăng nhẹ sau khi bón P₂O₅, đạt cao nhất ở công thức bón 0,4 kg/cây (125,8 mg/kg K) và có sự sai

khác có ý nghĩa so với các mức bón còn lại. Điều này cho thấy việc bón P_2O_5 có thể giúp duy trì hàm lượng K sẵn có thông qua việc cải thiện hiệu quả sử dụng các chất dinh dưỡng khác. Sự thay đổi hàm lượng K trao đổi trong kết quả nghiên cứu này không có xu hướng rõ ràng liên quan đến mức P_2O_5 bón, mặc dù có sự gia tăng chung. Quaggio và cs. (2006) nhấn mạnh rằng phản ứng của cây với phân bón P và K phụ thuộc vào độ phì nhiêu sẵn có của đất, việc bón phân P có thể gián tiếp ảnh hưởng đến các cation khác, nhưng tác động lên K ít rõ ràng hơn Ca và Mg.

Hàm lượng Ca và Mg trao đổi trước thí nghiệm lần lượt dao động từ 638,5 đến 683,8 mg/kg và 76,2 đến 82,6 mg/kg, nhưng không có sự sai khác có ý nghĩa giữa các công thức. Hàm lượng Ca và Mg trao đổi sau thí nghiệm có xu hướng tăng lên ở các công thức có bón P_2O_5 , điều này là do trong thành phần của phân lân có chứa một lượng Ca và Mg. Tuy nhiên, hàm lượng Ca và Mg trao đổi trong nghiên cứu này nằm dưới

ngưỡng phù hợp cho cây cam (1000 đến 2000 mg/kg Ca, 120 đến 240 mg/kg Mg; (Maneepong, 2008). Do vậy, người trồng cam cần bón bổ sung thêm lượng vôi hàng năm để cải thiện hàm lượng Ca và Mg trong đất.

Từ kết quả nghiên cứu trên cho thấy rằng việc bón phân P_2O_5 ở các mức từ 0,2 đến 1,0 kg P_2O_5 /cây đã góp phần cải thiện các chỉ tiêu hóa học của đất, đặc biệt là làm tăng lượng P_2O_5 dễ tiêu và pH đất. Công thức bón P_2O_5 từ 0,4-0,6 kg/cây thể hiện hiệu quả cân bằng giữa việc nâng cao chất dinh dưỡng đất và ổn định các chỉ tiêu khác như K, Ca và Mg trao đổi. Đây là căn cứ quan trọng để đề xuất mức bón P_2O_5 hợp lý cho cây cam xã Đoài tại vùng đất nghiên cứu.

3.2. Ảnh hưởng của liều lượng lân đến hàm lượng dinh dưỡng trong lá cam

Ảnh hưởng của liều lượng P đến hàm lượng các nguyên tố N, P, K, Ca và Mg trong lá cam xã Đoài trước và sau khi thí nghiệm được trình bày ở Bảng 3.

Bảng 3. Ảnh hưởng của liều lượng lân đến hàm lượng dinh dưỡng trong lá cam

Liều lượng P_2O_5 (kg/cây)	N (g/kg)		P (g/kg)		K (g/kg)		Ca (g/kg)		Mg (g/kg)	
	Trước	Sau	Trước	Sau	Trước	Sau	Trước	Sau	Trước	Sau
0	26,3 ^a	26,5 ^a	1,6 ^a	1,5 ^b	14,8 ^a	13,6 ^c	27,5 ^a	28,6 ^b	2,7 ^a	2,6 ^b
0,2	25,4 ^a	26,7 ^a	1,7 ^a	1,5 ^b	14,7 ^a	15,6 ^b	27,7 ^a	30,4 ^{ab}	2,8 ^a	2,9 ^{ab}
0,4	27,7 ^a	26,4 ^a	1,7 ^a	1,8 ^a	14,3 ^a	17,8 ^a	27,5 ^a	32,5 ^a	2,6 ^a	3,0 ^a
0,6	26,5 ^a	27,8 ^a	1,8 ^a	1,9 ^a	13,9 ^a	16,2 ^b	27,9 ^a	31,3 ^a	2,8 ^a	3,2 ^a
0,8	27,2 ^a	27,5 ^a	1,7 ^a	2,0 ^a	15,1 ^a	15,6 ^b	27,6 ^a	32,2 ^a	2,7 ^a	3,2 ^a
1,0	27,1 ^a	28,6 ^a	1,9 ^a	2,1 ^a	14,3 ^a	15,2 ^b	28,2 ^a	32,5 ^a	2,8 ^a	3,2 ^a
LSD _{0,05}	2,3	2,1	0,3	0,3	1,5	1,0	2,4	2,5	0,2	0,3
CV%	6,7	7,8	10,3	8,9	11,2	9,4	7,5	8,6	6,4	10,4

Trong cùng 1 cột, các số có ít nhất 1 chữ cái giống nhau thì không sai khác nhau ($p < 0,05$)

Hàm lượng N trong lá trước và sau thí nghiệm không có sự sai khác có ý nghĩa, dao động từ 25,4 đến 28,6 g/kg. Hàm lượng N trong lá nằm trong ngưỡng phù hợp đối với cây cam (23 đến 27 g/kg) (Quaggio và cs., 2010). Kết quả nghiên cứu của Nguyễn Thị Xuyên và cs. (2020) trên cam sành, cho thấy bón P không làm tăng mạnh hàm lượng N trong lá, nhưng giúp ổn định nồng độ N và cải thiện hấp thu các nguyên tố khác khi

phối hợp với phân hữu cơ và K.

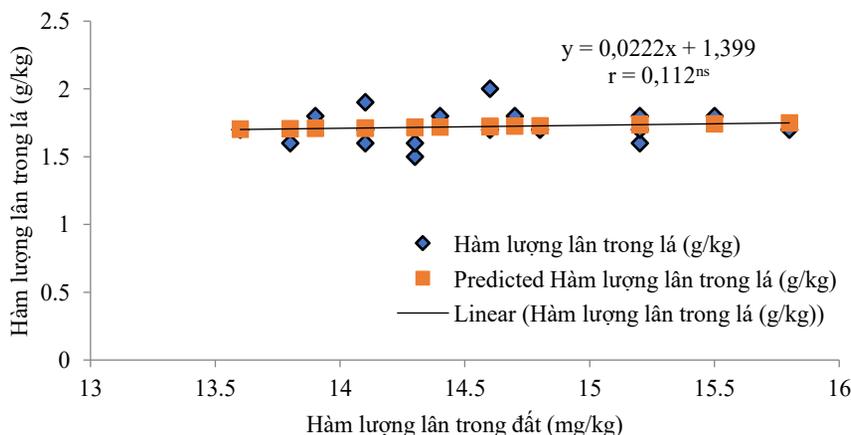
Hàm lượng P trong lá trước thí nghiệm dao động từ 1,6 đến 1,9 g/kg và không có sự sai khác có nghĩa giữa các công thức. Sau thí nghiệm, bón 0,2 kg P_2O_5 /cây thì hàm lượng P trong lá có xu hướng giảm, với lượng P_2O_5 bón này chưa thể đáp ứng được nhu cầu P cho cây cam. Các mức bón P_2O_5 từ mức 0,4 đến 1,0 kg/cây thì hàm

lượng P trong lá cao hơn và có sự sai khác có ý nghĩa so với không bón và bón ở mức 0,2 kg/cây. Các mức bón P₂O₅ từ 0,4 đến 1,0 kg/cây có hàm lượng P trong lá cao hơn ngưỡng phù hợp đối với cây cam (1,2 đến 1,6 g/kg; Alva và Tucker, 1999). Theo kết quả nghiên cứu của Amina và cs. (2021), bón 0,4 kg P₂O₅/cây cho cam giúp tăng hàm lượng P trong lá từ 1,4 lên 1,9 g/kg, phù hợp với xu hướng nghiên cứu trên giống cam xã Đoài của nghiên cứu này.

Hàm lượng K trong lá trước thí nghiệm dao động từ 13,9 đến 15,1 g/kg và không có sự sai khác có ý nghĩa giữa các mức bón. Hàm lượng K có xu hướng tăng lên sau thí nghiệm, đạt cao nhất ở mức bón 0,4 kg P₂O₅/cây và có sự sai khác có ý nghĩa so với các mức bón khác. Hàm lượng K trong lá nằm trong ngưỡng thích hợp đối với cây cam (12 đến 17 g/kg) (Alva và Tucker, 1999). Bón P giúp tăng khả năng hấp thu K nhờ cải thiện pH đất từ đó tăng khả năng hòa tan K trong đất tạo ra môi trường dễ và trao đổi ion đất thuận lợi cho quá trình hấp thu K của cây – phù hợp với phát hiện của Jones (2001), trong đó nhấn mạnh vai trò của P trong thúc đẩy chuyển hóa năng lượng ATP cần thiết cho vận chuyển K⁺ trong cây.

thí nghiệm lần lượt dao động từ 27,5 đến 28,2 và 2,6 đến 2,8 g/kg, nhưng không có sự sai khác có ý nghĩa giữa các công thức. Hàm lượng Ca và Mg có xu hướng tăng lên sau khi bón P, ở các mức bón trên 0,4 kg P₂O₅/cây thì hàm lượng Ca và Mg cao hơn và có sự sai khác có ý nghĩa so với không bón. Hàm lượng Ca và Mg trong lá tăng là do trong phân lân có chứa hàm lượng Ca và Mg. Kết quả này chứng minh rằng bón P, đặc biệt là P nung chảy (giàu CaO), không chỉ bổ sung P mà còn góp phần cung cấp canxi cho cây. Điều này phù hợp với kết quả của Nguyễn Thị Xuyên và cs. (2020) trên cam Hà Giang khi sử dụng phân P có chứa CaO. Tuy nhiên, hàm lượng Ca và Mg trong lá cam trước và sau thí nghiệm đều nằm dưới ngưỡng phù hợp đối với cây cam (Quaggio và cs., 2010). Do vậy, người trồng cam cần bổ sung thêm lượng vôi bón hàng năm để đáp ứng nhu cầu Ca và Mg cho cây.

Kết quả phân tích tương quan cho thấy, không có sự tương quan giữa hàm lượng P trong đất và trong lá trước thí nghiệm (Hình 1). Tuy nhiên, sau thí nghiệm thì hàm lượng P trong đất và trong lá (Hình 2) có sự tương quan thuận, tuyến tính với mức độ tương quan rất chặt chẽ thể hiện qua hệ số tương quan 0,884 (độ tin cậy 95 %).



Hình 1. Tương quan giữa hàm lượng P trong đất và trong lá trước thí nghiệm

*- có ý nghĩa thống kê

3.3. Ảnh hưởng của liều lượng lân đến các yếu tố cấu thành năng suất và năng suất cam xã Đoài

Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của các mức P_2O_5 bón đến các yếu tố cấu thành năng suất và năng suất cam xã Đoài được thể hiện trong Bảng 4.

Số quả/cây dao động từ 147,8 đến 179,0 quả/cây. Các mức P_2O_5 bón từ 0,4 đến 1,0 kg/cây có số quả/cây cao hơn và có sự sai khác có ý nghĩa so với không bón P_2O_5 và bón ở mức 0,2 kg/cây. Điều này cho thấy, P có vai trò quan trọng trong việc ra hoa, đậu quả và quá trình phát triển của quả. Tuy nhiên, khi tăng lượng P_2O_5 bón lên trên mức 0,4 kg thì số quả trên cây không tăng thêm. Khối lượng quả dao động từ 229,0 đến 250,2 g/quả. Mức bón P_2O_5 0,4 kg/cây có khối lượng trung bình quả cao hơn và có sự sai khác có ý nghĩa so với mức không bón P_2O_5 , nhưng không có sự sai khác có ý so với các mức bón P_2O_5 còn lại. Kết quả nghiên cứu trong Bảng 3.2 cũng cho thấy khi tăng lượng phân P_2O_5 bón lên trên mức 0,4 kg/cây thì hàm lượng P trong lá cũng không có sự sai khác có ý nghĩa. Do vậy, khi tăng lượng phân P_2O_5 bón lên trên mức

Bảng 4. Ảnh hưởng của liều lượng lân đến các yếu tố cấu thành năng suất và năng suất cam

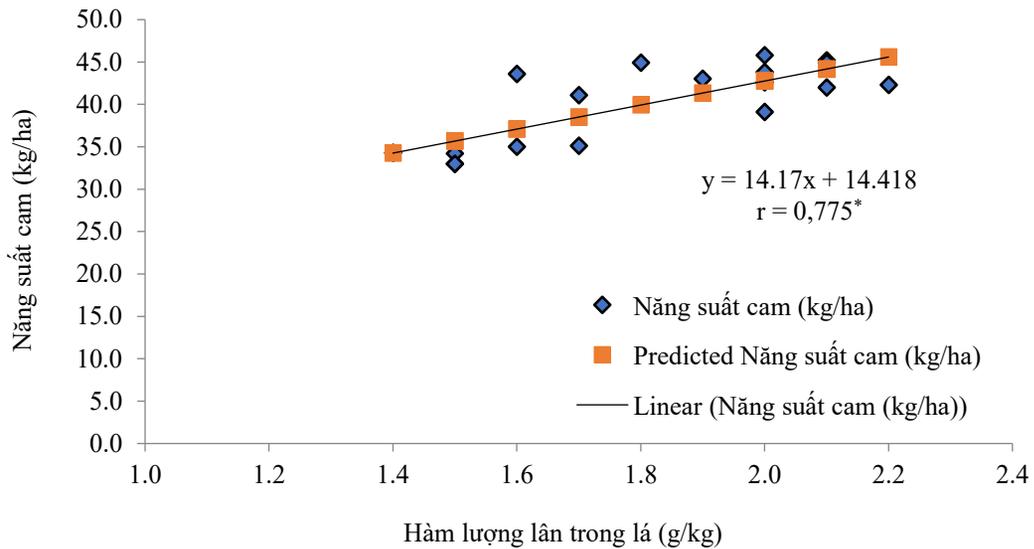
Lượng P_2O_5 (kg/cây)	Số quả (quả/cây)	Khối lượng quả (gam/quả)	Đường kính quả (cm)	Năng suất (kg/cây)	Năng suất tăng so với đôi chứng (%)
0	147,8 ^b	229,0 ^b	7,6 ^b	34,1 ^b	0
0,2	157,7 ^b	231,7 ^{ab}	7,7 ^{ab}	34,1 ^b	0
0,4	179,0 ^a	250,2 ^a	8,0 ^a	44,8 ^a	31,4
0,6	174,0 ^a	246,9 ^{ab}	8,1 ^a	43,1 ^{ab}	26,4
0,8	176,1 ^a	246,0 ^{ab}	8,1 ^a	43,8 ^a	28,5
1,0	177,3 ^a	238,8 ^{ab}	7,9 ^{ab}	41,1 ^{ab}	20,5
LSD _{0,05}	15,8	20,5	0,3	9,2	-
CV%	7,9	15,9	6,2	19,4	-

Trong cùng 1 cột, các số có ít nhất 1 chữ cái giống nhau thì không sai khác nhau ($p < 0,05$)

0,4 kg/cây đã không làm tăng số quả/cây và khối lượng trung bình quả. Kết quả nghiên cứu của Li và cs. (2020), cũng cho thấy việc bón P làm tăng số quả trên cây hơn là tăng khối lượng quả cam.

Đường kính quả cam dao động từ 7,6 đến 8,1cm. Các mức bón P_2O_5 từ 0,4 đến 0,8 kg/cây có đường kính quả cao hơn và có sự sai khác có ý nghĩa so với không bón P_2O_5 và các mức khác. Năng suất cam dao động từ 34,1 đến 44,8 kg/cây. Các mức bón P_2O_5 từ 0,4 đến 1,0 kg/cây có năng suất cao hơn và có sự sai khác có ý nghĩa so với không bón P_2O_5 và bón ở mức 0,2 kg/cây. Mức bón P_2O_5 từ 0,4 kg/cây có năng suất đạt cao nhất và cao hơn đôi chứng không bón P 31,4%. Kết quả nghiên cứu của Li và cs. (2020) cũng khẳng định, bón P_2O_5 ở mức 49,5 kg P_2O_5 /ha đã làm tăng năng suất cam Navel lên 32,6%.

Kết quả phân tích tương quan giữa hàm lượng P trong lá và năng suất (Hình 3) cho thấy có sự tương quan thuận, tuyến tính với mức độ tương quan chặt chẽ thể hiện qua hệ số tương quan 0,775 (độ tin cậy 95%).



Hình 3. Tương quan giữa hàm lượng P trong lá và năng suất cam

*- có ý nghĩa thống kê

3.4. Ảnh hưởng của liều lượng lân đến chất lượng cam xã Đoài

Chất lượng quả cam được quyết định bởi nhiều yếu tố như màu sắc, kích thước quả, màu sắc ruột quả, độ dày vỏ quả, độ brix, hàm lượng axit tổng số và hàm lượng vitamin C. Đối với cam xã Đoài chất lượng cao khi vỏ mỏng, mịn, màu vàng óng, mùi thơm đặc trưng tỏa ra từ lớp vỏ có nhiều tinh

dầu và ruột vàng óng, tỷ lệ nước ép và độ brix cao, chỉ số brix/axít cân đối tạo ra vị ngọt thanh đặc trưng của giống. Để đánh giá ảnh hưởng của lượng P₂O₅ bón đến chất lượng cam xã Đoài, chúng tôi tiến hành thu thập và phân tích số liệu, kết quả được thể hiện trong Bảng 5.

Bảng 5. Ảnh hưởng của liều lượng lân đến các yếu tố cấu thành chất lượng quả cam

Lượng P ₂ O ₅ (kg/cây)	Độ dày vỏ quả (cm)	Tỷ lệ nước ép (%)	Brix (%)	pH	Axít tổng số (%)	Vitamin C (mg/L)	Brix/axít
0	0,45 ^a	45,1 ^b	10,8 ^b	3,1 ^a	0,55 ^a	384,1 ^b	19,6 ^c
0,2	0,40 ^a	45,1 ^b	10,9 ^b	3,2 ^a	0,51 ^a	385,1 ^b	21,4 ^{bc}
0,4	0,40 ^a	51,5 ^a	12,6 ^a	3,2 ^a	0,44 ^a	411,7 ^a	28,6 ^a
0,6	0,44 ^a	49,0 ^{ab}	10,7 ^b	3,2 ^a	0,43 ^a	401,6 ^a	24,8 ^b
0,8	0,45 ^a	47,2 ^{ab}	11,3 ^b	3,1 ^a	0,47 ^a	403,9 ^a	24,0 ^b
1,0	0,42 ^a	48,3 ^{ab}	11,3 ^b	3,1 ^a	0,54 ^a	403,4 ^a	21,0 ^{bc}
LSD _{0,05}	0,20	4,6	0,95	0,9	0,34	12,8	3,5
CV%	14,3	15,2	7,1	2,5	11,1	2,7	12,8

Trong cùng 1 cột, các số có ít nhất 1 chữ cái giống nhau thì không sai khác nhau (p<0,05)

Độ dày vỏ quả dao động từ 0,40 đến 0,45 cm và không có sự sai khác có ý nghĩa giữa các mức bón P_2O_5 cũng như không bón P_2O_5 . pH trong dịch quả cam cũng không có sự sai khác có ý nghĩa giữa các mức bón P_2O_5 . Tỷ lệ nước ép dao động từ 45,1 đến 51,5 %. Mức bón P_2O_5 0,4 kg/cây có tỷ lệ nước ép đạt cao nhất và có sự sai khác có ý nghĩa so với không bón P_2O_5 , giữa các mức bón còn lại không có sự sai khác có ý nghĩa.

Độ brix (%) dao động từ 10,8 đến 12,6 %. Mức bón P_2O_5 0,4 kg/cây có độ brix đạt cao nhất và có sự sai khác có ý nghĩa so với các mức còn lại, giữa các mức bón còn lại không có sự sai khác có ý nghĩa. Hàm lượng axit tổng số dao động từ 0,43 đến 0,55 % và không có sự sai khác có ý nghĩa giữa các mức bón. Tuy nhiên, khi tăng lượng P_2O_5 bón từ 0,4 đến 0,8 kg/cây thì hàm lượng axit tổng số có xu hướng giảm và thấp hơn so với không bón P_2O_5 và bón ở mức cao hơn. Kết quả nghiên cứu của Li và cs. (2021), cũng chỉ ra rằng bón 0,4 kg P_2O_5 /cây có tác dụng nâng cao hàm lượng đường và giảm hàm lượng axit trong quả cam. Độ brix tăng lên khi bón P_2O_5 điều này cũng phản ánh vai trò thiết yếu của P trong quá trình hình thành năng lượng và vận chuyển carbohydrate trong cây, đồng thời nâng cao hiệu quả tổng hợp đường trong quả. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với nghiên cứu của Amina và cs. (2021) trên cam, cho thấy mức phân P trung bình giúp cải thiện đáng kể độ Brix và chất lượng nước ép quả.

Hàm lượng vitamin C ở mức bón 0,4 P_2O_5 kg/cây đạt giá trị cao nhất (411,7 mg/L), vượt trội so với đối chứng (384,1 mg/L). Điều này cho thấy P đóng vai trò quan trọng trong việc thúc đẩy hoạt động sinh lý của cây, đặc biệt là trong việc tổng hợp các hợp chất chống oxy hóa. Quaggio và cs. (2006) cũng ghi nhận kết quả tương tự trên giống cam ngọt ở điều kiện đất nhiệt

đới, khi mức phân P tối ưu giúp tăng vitamin C và kéo dài thời gian bảo quản sau thu hoạch.

Chỉ số brix/axit cho thấy sự cân bằng giữa vị ngọt và vị chua, đạt mức cao nhất ở công thức 0,4 kg P_2O_5 /cây (28,6), phản ánh chất lượng cảm quan tốt nhất. Đây là yếu tố then chốt trong việc nâng cao giá trị thương phẩm và khả năng tiêu thụ quả tươi. Tuy nhiên, khi tăng lượng P_2O_5 bón lên từ 0,6 đến 1,0 kg/cây thì chỉ số brix/axit lại có xu hướng giảm xuống, kết quả này tương đồng với nghiên cứu của Nguyễn Thị Xuyên và cs. (2020) trên giống cam Sành Hà Giang, khi mức phân P trung bình góp phần cải thiện tỷ lệ đường/axit, từ đó nâng cao hương vị và chất lượng tổng thể của quả.

Việc tăng lượng P_2O_5 lên 0,6 đến 1,0 kg/cây không mang lại sự cải thiện tương ứng ở các chỉ tiêu chất lượng, thậm chí còn có xu hướng giảm nhẹ ở một số chỉ tiêu như độ brix, chỉ số brix/axit. Hiện tượng này có thể do dư thừa P làm rối loạn cân bằng dinh dưỡng hoặc ức chế hấp thu vi lượng thiết yếu khác. Li và cs. (2020) cũng ghi nhận hiện tượng tương tự ở cây có múi trồng trên đất chua tại khu vực đập Tam Hiệp (Trung Quốc), trong đó dư thừa P dẫn đến mất cân bằng dinh dưỡng, ảnh hưởng đến chất lượng quả.

Như vậy, mức bón 0,4 kg P_2O_5 /cây được xem là tối ưu để nâng cao chất lượng quả cam xã Đoài, nhờ vào khả năng cải thiện hàm lượng nước, độ brix, vitamin C và chỉ số brix/axit.

4. KẾT LUẬN

Bón phân lân có ảnh hưởng rõ rệt đến năng suất và một số chỉ tiêu chất lượng quả cam xã Đoài. Mức bón 0,4 kg P_2O_5 /cây/năm cho năng suất tăng 31,4 % so với không bón P_2O_5 , đồng thời nâng cao độ brix, chỉ số brix/axit và hàm lượng vitamin C so với đối chứng không bón phân P_2O_5 . Tuy nhiên, khi tăng lượng phân P_2O_5 từ 0,6 đến 1,0 kg

P₂O₅/cây/năm thì hiệu quả không được cải thiện thêm rõ rệt và có xu hướng giảm nhẹ về mặt hiệu suất sử dụng. Từ kết quả nghiên cứu trên có thể khuyến cáo liều lượng lân ở mức bón 0,4 kg P₂O₅/cây/năm là phù hợp cho vùng trồng cam tại Thanh Hóa. Nghiên cứu này là cơ sở thực tiễn quan trọng để hoàn thiện quy trình canh tác bền vững đối với giống cam đặc sản địa phương.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Tài liệu tiếng Việt

- Cao Văn Chí. (2023). Thực trạng, nguyên nhân suy thoái và giải pháp cải tạo, phục hồi, phát triển cam. *Đặc san Khoa học công nghệ Nghệ An*, 3, 19-26.
- Nguyễn Hữu Hiền, Trương Xuân Sinh, Nguyễn Tài Toàn, Nguyễn Công Thành, Nguyễn Huy Anh. (2019). Nghiên cứu hàm lượng dinh dưỡng trong đất và lá cam tại huyện Nghĩa Đàn và Quỳnh Hợp, Tỉnh Nghệ An. *Tạp chí nông nghiệp và phát triển nông thôn*, 21, 50-56.
- Hoa Mai. (22/8/2025). *Vựa cam xứ Thanh vào mùa thu hoạch Tết*. Khai thác từ <https://bnews.vn/vua-cam-xu-thanh-vaomua-thu-hoach-tet/276402.html>
- Nguyễn Thị Xuyên, Vi Xuân Học, Lê Thị Thúy. (2020). Nghiên cứu ảnh hưởng của các công thức phân bón đến sinh trưởng, năng suất và chất lượng cam Sành Hà Giang. *Tạp chí Khoa học Đại học Tân Trào*, 17, 75-84.
- Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 1873:2014 (22/8/2025). *Cam quả tươi*. Khai thác từ <https://caselaw.vn/van-ban-phap-luat/249449-tieu-chuan-quoc-gia-tecvn-1873-2014-ve-cam-qua-tuoi-nam-2014>
- Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 11168 : 2015 (20/8/2025). *Phụ gia thực phẩm - Axit Ascorbic*. Khai thác từ <https://caselaw.vn/van-ban-phap-luat/249124-tieu-chuan-quoc-gia-tecvn-11168-2015-ve-phu-gia-thuc-pham-axit-ascorbic-nam-2015>

2. Tài liệu tiếng nước ngoài

- Alva, A. K., & Tucker, D. P. H. (1999). Soil and citrus nutrition. In L. W. Timmer & L. W. Duncan (Eds.), *Citrus Health Management* (pp. 59-71). APS Press.
- Amina, M. Z. R., Asim, M., Shahzad, S., Muqee, S. (2021). Standardization of doses of phosphorus and potassium on growth and fruit quality of young Kinnow (citrus reticulata blanco). *Pakistan Journal of Agriculture, Agricultural Engineering and Veterinary Sciences*, 37(1), 11–20. <https://doi.org/10.47432/2021.37.1.2>
- Boland, F. E. (1995). Acidity (titratable) of fruit products. In P. Cunniff (Eds.), *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists international* (16th ed.). AOAC International.
- FAOSTAT. (2025). Retrieved June 16, 2025, from <https://www.fao.org/faostat/en/#home>
- Jones, J. B. (2001). *Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420025293>
- Jones, J. B. (2002). *Agronomic handbook: management of crops, soils and their fertility* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420041507>
- Khan, F., Siddique, A. B., Shabala, S., Zhou, M., & Zhao, C. (2023). Phosphorus Plays Key Roles in Regulating Plants' Physiological Responses to Abiotic Stresses. *Plants (Basel)*, 12(15), 2-29. <https://doi.org/10.3390/plants12152861>
- Li, D., Li, X., Han, Q., Zhou, Y., Dong, J., & Du, Z. (2020). Phosphorus application improved the yield of citrus plants grown for three years in an acid soil in the Three Gorges Reservoir Area. *Scientia Horticulturae*, 273(17). <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109596>
- Maneepong, S. (2008). A nutrient survey for establishment of standard recommendation of soil and plant analysis for Pummelo. *Agricultural Science Journal*, 39, 62-65
- Mogashane, T. M., Mapazi, O., Motlatle, M. A., Mokoena, L., & Tshilongo, J. A. (2025). Review of Recent Developments in Analytical Methods for Determination of Phosphorus from Environmental Samples. *Molecules*, 30, 1001. <https://doi.org/10.3390/molecules30051001>
- Pang, F., Li, Q., Solanki, M. K., Wang, Z., Xing, Y. X., & Dong, D.F. (2024). Soil phosphorus transformation and plant uptake driven by phosphate-solubilizing microorganisms. *Front. Microbiol*, 15, 1-13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1383813>
- Quaggio, J. A., Matto, D. J., & Cantarella, H. (2006). Fruit yield and quality of sweet oranges affected by nitrogen, phosphorus

- and potassium fertilization in tropical soils. *Original article Fruits*, 61, 293–302.
- Quaggio, J. A., Mattos, J. D., & Boaretto, R. M. (2010). Citros. In: Prochnow L I, Casarin W, Stipp S R, eds., Boas Práticas Para o uso Eficiente de Fertilizantes. *International Plant Nutrition Institute*, 371–409.
- Tian, K., Xing, Z., Kalkhajeh, Y. K., Zhao, T., Hu, W., Huang, B., & Zhao, Y. (2022). Excessive phosphorus inputs dominate soil legacy phosphorus accumulation and its potential loss under intensive greenhouse vegetable production system. *Journal of Environmental Management*, 303(1), 114 - 149. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114>