

KẾT QUẢ BƯỚC ĐẦU THỬ NGHIỆM VI LƯỢNG ĐẤT HIẾM CHO CÂY DƯỢC LIỆU VÀ ĐỀ XUẤT ĐỊNH HƯỚNG

Đến tòa soạn XX-XX-20XX

Ngày chấp nhận đăng: XX-XX-20XX

Phạm Quang Minh^{1,2}, Vương Hữu Anh², Ngô Văn Tuyền²,
Nguyễn Hữu Đức², Phùng Vũ Phong², Hoàng Xuân Thi²

¹Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam

²Viện Công nghệ xạ hiếm

*E-mail: minhpg64@gmail.com

SUMMARY

PRELIMINARY RESULTS OF RARE EARTH MICRONUTRIENT TRIALS ON MEDICINAL PLANTS AND PROPOSED RESEARCH DIRECTIONS

Rare earth element (REE) micronutrient fertilizers have emerged as a promising tool for sustainable agriculture, particularly in medicinal plant cultivation. This study reviews national and international evidence on the effects of REEs on seed germination, root development, biomass accumulation, and secondary metabolite production. Preliminary field trials in Vietnam on *Camellia nitidissima* and *Morinda officinalis* showed notable increases in yield and bioactive compound content, with minimal heavy metal accumulation. Based on these results, future research is proposed to investigate molecular mechanisms, expand target plant species, integrate beneficial microorganisms, and assess economic and environmental impacts to support safe and effective REE application in medicinal plant production.

Keywords: Fertilizer; rare earth elements (REE); medicinal plants; *Morinda officinalis*; *Camellia crassiphylla*.

1. MỞ ĐẦU

Cây dược liệu giữ vai trò trung tâm trong y học cổ truyền và đang ngày càng khẳng định vị thế trong dược phẩm, mỹ phẩm và thực phẩm chức năng, đặc biệt trong xu hướng “quay về thiên nhiên” hiện nay. Tuy nhiên, năng suất và chất lượng dược liệu vẫn chịu ảnh hưởng mạnh bởi điều kiện sinh trưởng, biến động hàm lượng hoạt chất và khả năng chống chịu hạn chế. Do đó, việc tìm kiếm giải pháp sinh học an toàn nhằm nâng cao sinh trưởng và chất lượng cây dược liệu là nhu cầu cấp thiết.

Trong bối cảnh đó, các nguyên tố đất hiếm (Rare Earth Elements – REE) được xem là nhóm vi lượng tiềm năng nhờ khả năng kích thích sinh trưởng ở nồng độ rất thấp. Nhiều nghiên cứu cho thấy REE (đặc biệt La^{3+} , Ce^{3+}) có thể thúc đẩy nảy mầm, phát triển rễ, hiệu suất quang hợp [1], cải thiện tổng hợp protein và điều hòa các hợp chất thứ cấp thông qua kích hoạt enzyme hoặc điều biến gen [2, 3]. Ở nồng độ tối ưu, REE kích hoạt các enzyme như α -amylase, peroxidase (POD) và nitrate reductase (NR), giúp tăng trao đổi chất,

hấp thu dinh dưỡng và tăng sức chống chịu của cây.

Các kết quả nghiên cứu quốc tế ghi nhận tác động tích cực rõ rệt:

Giai đoạn nảy mầm: REE ở nồng độ thích hợp tăng nảy mầm, hấp thu nước, tính thấm màng và hoạt động trao đổi chất [4,5]. Nd^{3+} 1–3 mg/L nâng nảy mầm Cỏ mực đen, tối ưu ở 3 mg/L nhưng nồng độ >5 mg/L gây ức chế [6]. Nd^{3+} 6 mg/L tăng nảy mầm Đẳng sâm bắc 40–42 % [7]; Nd^{3+} 80 mg/L tăng nảy mầm Đương quy 57 % [8]. Oxit nano La_2O_3 10 mg/L tăng nảy mầm cỏ linh lăng, tăng rễ 23,4 cm và mầm 13,3 cm [9]. Cơ chế tương tác chính của đất hiếm là kích thích enzym α -amylase, tăng giải phóng đường hòa tan để cung cấp năng lượng cần thiết cho quá trình nảy mầm [10].

Phát triển rễ: REE điều hòa phân chia và biệt hóa tế bào mầm rễ qua peroxidase (POD) và nitrate reductase (NR) giúp duy trì quá trình kéo dài tế bào rễ và hấp thu nitơ [11,12]. Điển hình: La^{3+} , Eu^{3+} tăng tốc độ ra rễ và khối lượng tươi Mộc qua [12–14]. Nd^{3+} 4 mg/L giúp Lan kim tuyến 100 % tái sinh rễ, đạt 23,9 rễ/cây [15]. La^{3+} 10 μM kích thích rễ Thạch tùng 1,7 lần nhưng nồng độ 50–100 μM gây ức chế [16].

Sinh khối và quang hợp: REE tăng diệp lục, protein, đường hòa tan, hiệu suất quang hợp, sinh khối [17]. REE 50 mg/L tăng protein 33 %, đường 29 %, flavonoid 48,6 % trên Bạch quả nhưng nồng độ 400 mg/L gây ức chế [18]. Trong nuôi cấy Hoàng liên, Yb^{3+} 0,1 mg/L, Eu^{3+} 1 mg/L tăng khối lượng mô [19]. Đối với Nấm Linh chi, REE + brassinosteroid tăng 35 % sinh khối; tăng polysaccharide, triterpenoid [20].

Tổng hợp chất chuyển hóa thứ cấp: REE kích thích alkaloid, flavonoid, taxol như: La^{3+} 20 ppm tăng alkaloid Dừa cạn, 60 ppm

ức chế [21]; La^{3+} 5,8 mM tăng taxol trong Thị mộc gấp 3 lần, 23 mM gây hiệu ứng đảo ngược [22]; Eu^{3+} 1 mg/L tăng emodin 10 lần, chrysophanol 130 lần trong Đại hoàng [23]; La^{3+} 20–80 μM tăng artemisinin trong Thanh hao; REE 50 mg/L tăng flavonoid Bạch quả 48,6 % [24].

Hấp thu khoáng và giảm kim loại nặng: REE tăng Fe, Zn, Mg trong Nấm Linh chi 0,7–3,98 % [25]; La^{3+} 50 μM làm giảm Pb trong Bạch quả 15 %, giảm Cd trong Dừa cạn 10 %; Ce^{3+} 100 μM giảm Hg, tăng GST trong Hoàng Liên [26,27]; La^{3+} 20 μM giảm As trong Đương quy với cơ chế liên quan đến tăng tổng hợp phytochelatins để chelat hóa As nội bào.

Từ những bằng chứng kết quả nghiên cứu trên thế giới, có thể thấy các nguyên tố đất hiếm (REE) có tiềm năng lớn trong nông nghiệp, đặc biệt với cây dược liệu có giá trị cao nhưng nhạy cảm với môi trường cũng như điều kiện trồng. Tại Việt Nam, REE đã được quan tâm từ những năm 1990, chủ yếu trên các cây nông nghiệp như chè, cà phê, lúa và ngô. Thử nghiệm cho thấy REE phối trộn vào phân bón vi lượng tăng sinh trưởng, năng suất và khả năng hấp thu dinh dưỡng mà không tích lũy đáng kể trong sản phẩm. Một số mô hình tại Tây Nguyên và Tây Bắc đã chứng minh tiềm năng ứng dụng này. Tuy nhiên, nghiên cứu định lượng về hiệu quả và an toàn sinh học của REE trên cây dược liệu vẫn còn hạn chế, chưa có hệ thống và thiếu cơ chế tác động rõ ràng.

Trong bối cảnh đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá tác động của phân bón vi lượng REE tổng hợp đến sinh trưởng, năng suất, chất lượng hoạt chất và dư lượng của hai cây dược liệu bản địa tiêu biểu: Trà hoa vàng (*Camellia crassiphylla*) và Ba kích tím (*Morinda officinalis*). Các khảo nghiệm thực địa được thiết kế để làm rõ hiệu quả sinh

trường – kinh tế, cung cấp cơ sở khoa học cho phát triển phân bón vi lượng thể hệ mới, hỗ trợ canh tác được liệu chất lượng cao và bền vững.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Nguyên vật liệu, đối tượng và địa điểm khảo nghiệm

Nghiên cứu được thực hiện nhằm đánh giá khả năng ứng dụng phân bón vi lượng đất hiếm (REE) trong sản xuất dược liệu, thông qua khảo nghiệm thực địa trên hai loài bản địa có giá trị cao: Trà hoa vàng (*Camellia crassiphylla*) và Ba kích tím (*Morinda officinalis*).

Phân bón sử dụng: Phức REE chelate với EDTA/axit amin (glutamic, lactic) được tổng hợp từ cacbonat/hydroxit đất hiếm thu hồi tại mỏ Đông Pao. Thành phần chính: La_2O_3 18,35%; CeO_2 29,12%; Nd_2O_3 6,93%; Pr_2O_3 3,53%. Hai chế phẩm (Đề tài cấp Bộ mã số ĐTCB-19/20/TTCXHN) gồm: HIC-DG.22 (bón rễ): Chất hữu cơ 28%; C/N = 7,2; pH = 5; ẩm 30%; tổng REE 200 ppm; và HIC-DL.22 (phun lá): Chất hữu cơ 25%; pH 4,5–5,0; Mg 0,1%; B 0,1%; Zn 0,05%; Mn 0,05%; tổng REE 12.000 ppm.

Địa điểm khảo nghiệm: Công ty Cổ phần Lâm sản Đập Thanh, xã Đập Thanh, huyện Ba Chẽ, tỉnh Quảng Ninh (độ cao 300–600 m; đất có pH 4,5–5,5; khí hậu cận nhiệt đới ẩm).

Đối tượng khảo nghiệm: Trà hoa vàng 10 năm tuổi (giai đoạn khai thác). Ba kích tím 3 năm tuổi (giai đoạn phát triển củ).

2.2. Thiết kế thí nghiệm

Thí nghiệm bố trí theo kiểu hoàn toàn ngẫu nhiên (CRD) với hai công thức và ba lần lặp lại: **CT1 (Đối chứng):** Bón NPK 30-10-10 theo quy trình kỹ thuật (Trà hoa vàng: 500 kg/ha/năm; Ba kích tím: 2.400 kg/ha/năm); và **CT2 (REE):**

Giảm 15% lượng NPK, kết hợp 800 kg/ha HIC-DG.22 (≈ 160 g oxit REE/ha) và phun 13–14 L/ha HIC-DL.22.

Thời gian khảo nghiệm: 14 tháng (2023–2024).

2.3. Phương pháp theo dõi và phân tích

Chỉ tiêu theo dõi: Sinh trưởng (đường kính gốc, số nụ/ quả), năng suất (hoa khô, rễ củ tươi), hàm lượng hoạt chất đặc trưng (rutin ở Trà hoa vàng; nystose ở Ba kích tím), dư lượng REE trong mẫu thu hoạch, và các chỉ tiêu chất lượng (độ ẩm, tro, chất chiết).

Phân tích: Các chỉ tiêu sinh trưởng và năng suất đo theo tiêu chuẩn thực nghiệm đồng ruộng, các phép đo được thực hiện theo quy trình tiêu chuẩn ngành, hàm lượng rutin & nystose phân tích định lượng bằng phương pháp chuẩn HPLC, dư lượng REE xác định bằng ICP-MS, số liệu biểu diễn trung bình $\pm$ SD; so sánh bằng kiểm định t/ANOVA thích hợp ($P < 0,05$ là khác biệt có ý nghĩa).

Các chỉ tiêu theo dõi bao gồm: Sinh trưởng (chiều cao, đường kính gốc, số nụ hoa/quả); Năng suất (hoa khô đối với Trà hoa vàng, củ tươi đối với Ba kích tím); Hàm lượng hoạt chất chính (rutin ở Trà hoa vàng, nystose ở Ba kích tím); Dư lượng REE trong mẫu thu hoạch (hoa, lá, củ); và Các chỉ tiêu chất lượng (độ ẩm, tro, chất chiết).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả khảo nghiệm trên cây Trà hoa vàng và Ba kích tím

Trà hoa vàng 10 năm tuổi sau khi bón REE cho thấy tán lá xanh đậm, chồi khỏe, nụ hoa nhiều và đồng đều hơn. Năng suất hoa khô tăng 11,5 %, số nụ hoa tăng 7,4 %. Phân tích định lượng cho thấy hàm lượng flavonoid (rutin) tăng nhẹ ($\approx 3,1\%$), phản ánh hiệu ứng kích thích tổng hợp chất chuyển hóa thứ cấp.

Bảng 1: Ảnh hưởng của phân bón vi lượng đất hiếm (REE) đến sinh trưởng, năng suất và chất lượng hai loài cây dược liệu

Chỉ tiêu	Đơn vị / Ghi chú	Trà hoa vàng (<i>Camellia crassiphylla</i>)	Ba kích tím (<i>Morinda officinalis</i>)
Số nụ hoa / quả / cây	–	1.050 ± 58 → 1.128 ± 62 (+7,4%)	15,4 ± 6,7 → 18,5 ± 5,9 (+20,1%)
Năng suất	kg/500 m ²	159,0 ± 18,0 → 177,3 ± 22,5 (+11,5%)	1.530,0 ± 63,5 → 1.740,0 ± 70,4 (+13,7%)
Năng suất (kg/cây)	–	1,060 ± 0,12 → 1,182 ± 0,15 (+11,5%)	2,55 ± 0,35 → 2,90 ± 0,52 (+13,7%)
Đường kính gốc (cm)	–	–	1,43 ± 0,43 → 2,05 ± 0,68 (+43,4%)
Độ ẩm (%)	–	11,9 → 9,5	6,4 → 6,9
Tro (%)	–	4,4 → 4,3	4,1 → 3,7
Chất chiết (%)	–	56,2 → 52,3	69,7 → 71,5
Hoạt chất chính	Rutin / Nystose (%)	0,230 → 0,237 (+3,1%)	5,20 → 5,33 (+2,4%)

Ba kích tím 3 năm tuổi cho phản ứng rõ rệt với REE: cây phát triển mạnh, lá xanh dày, đường kính gốc và tán lớn hơn đối chứng. Năng suất củ tươi tăng 13,7 %, hàm lượng hoạt chất nystose tăng khoảng 2,4 %.

3.2. Dự lượng REE và hiệu quả kinh tế sơ bộ

Hàm lượng REE trong hoa, lá và củ đều ở mức rất thấp không vượt ngưỡng an toàn cho thấy cây hấp thu có chọn lọc. Đồng thời, tính toán hiệu quả kinh tế sơ bộ cho thấy lợi nhuận tăng đáng kể khi sử dụng REE.

Như vậy, việc sử dụng phân bón vi lượng đất hiếm giúp cải thiện sinh trưởng, chất lượng hoạt chất và hiệu quả kinh tế, đồng thời hàm lượng REE tồn dư vẫn trong giới hạn an toàn theo các nghiên cứu quốc tế. Tuy nhiên, thí nghiệm mới chỉ tiến hành trong một vụ và một điều kiện sinh thái, cần tiếp tục lặp lại ở nhiều vụ và vùng khác nhau để đánh giá tính ổn định và cơ chế tác động. Kết quả này là cơ sở thực tiễn quan trọng cho việc mở rộng ứng dụng phân bón REE trong sản xuất dược liệu Việt Nam.

Bảng 2: Dự lượng REE trong mẫu thu hoạch (mg/kg)

Chỉ tiêu	Trà hoa vàng	Ba kích tím
Hàm lượng La (mg/kg) – ĐC/ĐH	0,43 / 0,62	1,8 / 5,3
Hàm lượng Ce (mg/kg) – ĐC/ĐH	0,31 / 0,51	4,5 / 12,1
Hàm lượng Nd (mg/kg) – ĐC/ĐH	0,46 / 0,50	1,1 / 3,5
Tăng năng suất (%)	+11,5	+13,7
Chi phí phân bón (triệu đồng /500 m ²)	1,788	5,988
Hiệu quả tăng thu (triệu đồng/500 m ²)	+274,012	+38,052

3.3. So sánh kết quả với các nghiên cứu trước đây

Kết quả khảo nghiệm trong nghiên cứu này nhìn chung phù hợp với xu hướng quốc tế về tác động kích thích sinh trưởng của nguyên tố đất hiếm (REE) ở nồng độ thấp.

Các nghiên cứu tại Trung Quốc, Nhật Bản và châu Âu đã chứng minh La³⁺, Ce³⁺, Nd³⁺ có khả năng thúc đẩy nảy mầm, phát triển rễ, tăng hiệu suất quang hợp và tổng hợp chất chuyển hóa thứ cấp ở nhiều loài cây [6–12].

Liu và cs. (2018) ghi nhận dung dịch nano La_2O_3 10 mg/L làm tăng tỷ lệ nảy mầm của *Medicago sativa* từ 30% lên 81,3% trong điều kiện mặn, trong khi Zhang và cs. (2020) cho thấy Ce^{3+} tăng hoạt tính enzyme nitrate reductase và flavonoid trong *Ginkgo biloba*.

Mức tăng năng suất 11,5% ở Trà hoa vàng và 13,7% ở Ba kích tím trong nghiên cứu này nằm trong khoảng 10–20% thường gặp ở các loài dược liệu khác như *Coptis chinensis* hay *Catharanthus roseus* [18, 21–24].

Đặc biệt, hàm lượng REE tồn dư (La, Ce, Nd: 0,3–12,1 mg/kg) thấp hơn nhiều so với một số báo cáo quốc tế (>20 mg/kg) [26, 27], chứng tỏ phương pháp và liều lượng sử dụng phù hợp, an toàn cho cây dược liệu.

Như vậy, kết quả nghiên cứu không chỉ củng cố các bằng chứng quốc tế mà còn là dữ liệu thực địa đầu tiên tại Việt Nam chứng minh hiệu quả và độ an toàn của phân bón vi lượng REE trên hai loài cây dược liệu bản địa có giá trị cao.

Hiệu ứng tăng năng suất và hoạt chất trong nghiên cứu này tương đương với các kết quả quốc tế, nhưng có ưu điểm nổi bật là dư lượng REE thấp và hiệu quả ổn định trong điều kiện thực địa, cho thấy tiềm năng ứng dụng REE vào sản xuất dược liệu an toàn và bền vững tại Việt Nam.

4. KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT ĐỊNH HƯỚNG

4.1. Kết luận

Khảo nghiệm thực địa cho thấy phân bón vi lượng chứa nguyên tố đất hiếm (REE) có tác dụng rõ rệt trong việc tăng sinh trưởng, năng suất và chất lượng hoạt chất của Trà hoa vàng (*Camellia crassiphylla*) và Ba kích tím (*Morinda officinalis*) khi

sử dụng ở liều lượng phù hợp.

Tác động sinh lý – sinh hóa: REE giúp tăng cường quang hợp, hoạt hóa enzyme và điều hòa tổng hợp flavonoid, polysaccharide, làm hàm lượng rutin và nystose tăng lần lượt 3,1% và 2,4%.

Hiệu quả sinh trưởng – năng suất: Năng suất hoa và củ tăng tương ứng 11,5% và 13,7%, phản ánh hiệu ứng kích thích sinh học đa hướng của REE.

An toàn và hiệu quả kinh tế: Hàm lượng La, Ce, Nd tồn dư trong sản phẩm rất thấp (0,3–12,1 mg/kg), nằm trong giới hạn an toàn; lợi nhuận tăng 38–274 triệu đồng/500 m², khẳng định tính khả thi trong sản xuất.

Kết quả này khẳng định tiềm năng ứng dụng REE như nhóm vi lượng thể hệ mới, góp phần nâng cao năng suất, chất lượng, hiệu quả kinh tế và tính bền vững trong canh tác dược liệu Việt Nam.

4.2. Đề xuất định hướng

Dựa trên các kết quả khảo nghiệm bước đầu, để hoàn thiện và mở rộng ứng dụng REE trong sản xuất dược liệu, nhóm nghiên cứu đề xuất các định hướng trọng tâm sau:

Làm rõ cơ chế tác động sinh học: Kết hợp các phân tích enzyme, gen và proteome để xác định cơ chế truyền tín hiệu và ảnh hưởng của REE tới quá trình trao đổi chất ở thực vật.

Tối ưu hóa liều lượng và điều kiện sử dụng: Thiết kế thí nghiệm đa nhân tố (REE - NPK - stress) nhằm xác định liều tối ưu và giới hạn an toàn.

Đánh giá hiệu quả kinh tế – môi trường: Ứng dụng các mô hình phân tích chi phí – lợi ích (CBA) và vòng đời sản phẩm (LCA) để xác định tính bền vững tổng hợp.

Bảng 3: Tổng hợp 5 loại cây dược liệu có chu kỳ thu hoạch ngắn (≤ 1 năm) định hướng ứng dụng đất hiếm

Tên cây	Tên khoa học	Nhóm cây	Lý do chọn lựa	Chu kỳ thu hoạch	Vùng phân bố chính	Tình trạng bản địa	Giá trị kinh tế
Nấm linh chi	<i>Ganoderma lucidum</i>	Nấm dược liệu	– Giàu polysaccharide, triterpenoid; có thể trồng nhân tạo; đã có nghiên cứu REE hỗ trợ sinh khối.	3–4 tháng	Bắc Trung Bộ, Tây Nguyên, Lâm Đồng	Du nhập	0,7–1,2 triệu đ/kg khô; loại đỏ đạt 1,2–1,5 triệu đ/kg; giá trị xuất khẩu cao.
Ba kích tím	<i>Morinda officinalis</i>	Rễ – củ	– Chứa iridoid, anthraquinon; thích nghi vùng núi; có thể tăng sinh trưởng, kháng stress qua REE.	18–24 tháng	Quảng Ninh, Bắc Giang, Hà Giang	Bản địa	0,6–0,9 triệu đ/kg; hàng rừng ~0,95 triệu đ/kg; tiềm năng chế phẩm sức khỏe.
Đương quy	<i>Angelica sinensis</i>	Rễ – củ	– Giàu ferulic acid; tăng tỷ lệ nảy mầm nhờ REE; dễ trồng kiểm soát.	1 năm	Hà Giang, Lào Cai, Kon Tum	Du nhập	0,2–0,5 triệu đ/kg khô; thị trường lớn trong dược – mỹ phẩm.
Hoàng liên chân gà	<i>Coptis chinensis</i>	Rễ – thân rễ	– Chứa berberin; mô sẹo đã thử REE; thích hợp vùng lạnh ẩm.	2–3 năm	Lào Cai, Lai Châu, Hà Giang	Du nhập	1,2–2,0 triệu đ/kg khô; dược liệu quý trong Đông y.
Cà gai leo	<i>Solanum procumbens</i>	Dây leo – toàn cây	– Giàu alkaloid, flavonoid; chịu hạn, dễ trồng khảo nghiệm.	6–10 tháng	Miền Trung, Tây Nguyên, đồng bằng	Bản địa	0,1–0,3 triệu đ/kg khô; nhu cầu cao trong sản phẩm hỗ trợ gan.

Phát triển mô hình canh tác tích hợp:

Kết hợp REE với vi sinh vật có ích (PGPR, nấm rễ) hoặc công nghệ nano để kiểm soát giải phóng dinh dưỡng, hướng tới mô hình “REE – hữu cơ – vi sinh”.

Mở rộng khảo nghiệm đa vùng: Tiến hành tại các vùng sinh thái khác nhau (Đông Bắc, Tây Nguyên, Trung Bộ) để đánh giá khả năng thích nghi và hiệu quả tổng hợp.

Bên cạnh hai đối tượng khảo nghiệm hiện tại, cần xác định thêm các loài cây dược liệu có chu kỳ sinh trưởng ngắn và giá trị kinh tế cao, phù hợp cho nghiên cứu ứng dụng REE giai đoạn tới. Từ Danh mục 100 dược liệu có giá trị y tế và kinh tế cao (Quyết định 3657/QĐ-BYT, 2019 [29]), nhóm nghiên cứu lựa chọn 5 loài tiềm năng (Bảng 3) dựa trên các tiêu chí sau: (i) chu kỳ thu hoạch ≤ 1 năm hoặc trồng nhiều vụ/năm; (ii) giá trị dược lý rõ, thị

trường ổn định; (iii) điều kiện canh tác đơn giản; và (iv) có dữ liệu sinh lý hoặc hóa sinh liên quan đến vi lượng kim loại.

Việc lựa chọn nhóm cây này giúp thử nghiệm nhanh, chi phí thấp và dễ kiểm soát, là bước đệm thực tiễn trước khi mở rộng sang các loài có chu kỳ dài hơn.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam, Viện Công nghệ xạ hiếm và Công ty Cổ phần Lâm sản Đập Thanh (Quảng Ninh) đã hỗ trợ cơ sở vật chất và phối hợp khảo nghiệm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M. Kovaříková, I. Tomášková, and P. Soudek (2019). Rare earth elements in plants. *Biologia Plantarum*, **63**(1), 20-32.
- [2] O. Agatha, D. Mutwil-Anderwald, J. Y. Tan, and M. Mutwil (2024). Plant sesquiterpene lactones. *Philosophical Transactions B*, **379**(1914), 20230350.
- [3] F. Zhibin, K. Zhang, F. Wang, X. Zhao, R. Bai, and B. Liu (2020). Effects of Rare Earth Elements on Growth and Determination of Secondary Metabolites under In Vitro Conditions in *Salvia miltiorrhiza*. *HortScience*, **55**, 1-7.
- [4] K. Song et al. (2021). Experimental and theoretical study of the effects of rare earth elements on growth and chlorophyll of alfalfa (*Medicago sativa* L.) seedling. *Frontiers in Plant Science*, **12**, 731838.
- [5] L. Qiu and Q. Zhou (2008). Review on the effects of rare earth elements on seed germination. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, **16**, 529-533.
- [6] J. Yao, C. Liu, G. Qin, and K. Chen (2008). The effect of Nd^{3+} and burdock oligosaccharide on the germination of *Cassia obtusifolia* seeds. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, **24**, 69-72.
- [7] L. Sun, S. Wu, Y. Zhang, C. Liu, and K. Chen (2008). Effect of rare earth Nd, burdock oligosaccharide and NaCl on seed germination of *Radix astragali*. *China Seed Industry*, **1**, 41-42.
- [8] S. Chen, X. Wang, B. Zhao, and Y. Wang (2010). Regulating the cell growth and shoot induction of *Crocus sativus* embryogenic callus by rare earth elements. *Chinese Bulletin of Botany*, **45**(5), 609.
- [9] J. Gao et al. (2025). Effects of seed priming with La_2O_3 nanoparticles on seed vigor of alfalfa (*Medicago sativa*) under salt stress. *South African Journal of Botany*, **176**, 1-11.
- [10] R. Thiruvengadam, M. Easwaran, S. Rethinam, S. Madasamy, S. A. Siddiqui, A. Kandhaswamy, and B. Venkidasamy (2024). Boosting plant resilience: The promise of rare earth nanomaterials in growth, physiology, and stress mitigation. *Plant Physiology and Biochemistry*, **2024**, 108519.
- [11] C. Zhao, D. Randall, P. Holford, A. M. Haigh, and Z.-H. Chen (2019). Isolation of high purity guard cell protoplasts of *Arabidopsis thaliana* for omics research. *Plant Growth Regulation*, **89**(1), 37-47.
- [12] S. Weiping (2002). Effects of lanthanum and europium elements on rooting of plantlet loquat in vitro. *Journal of the Chinese Rare Earth Society (Chinese edition)*, **20**(5), 458-462.
- [13] 宋卫平, 洪法水, 万志刚, and 周玉珍 (2002). Effects of Lanthanum and Europium on Rooting of Plantlet *Eriobotrya japonica* Lindl. in vitro. *Journal of the Chinese Rare Earth Society (English edition)*, **20**(6), 658-662.
- [14] W. Song, F. Hong, and Z. Wan (2002). Effects of lanthanum element on the rooting of loquat plantlet in vitro. *Biological Trace Element Research*,

- 89, 277-284.
- [15] L. Huang (2006). Study on establishment of the clone system of *Dendrobium densiflorum* and *Dendrobium exile* in vitro and effect of rare earth elements on roots regeneration of *Dendrobium densiflorum*. Thesis.
- [16] Z. XD (2006). Study on the relationship between the habitat of *Huperzia serrata* and seasonal fluctuating accumulation of Huperzine A. Dissertation, Hefei University of Technology.
- [17] H. Luo, Y. Chen, L. He, and X. Tang (2021). Lanthanum (La) improves growth, yield formation and 2-acetyl-1-pyrroline biosynthesis in aromatic rice (*Oryza sativa* L.). *BMC Plant Biology*, **21(1)**, 233.
- [18] X. Yinfeng, L. Qun, S. Huijuan, Y. Wenjing, L. Xiaojun, and C. Ying (2000). Effects of rare earth elements on some leaf inclusion and leaf yield in seedlings of *Ginkgo biloba*. *Journal of Nanjing Forestry University*, **24(6)**, 71-74.
- [19] L. Ping, L. Kuanke, Z. Junhua, and G. Dean (1998). Effect of rare earth elements on callus growth in *Coptis chinensis*. *Journal of Beijing Medical University*, **30(5)**, 389-391.
- [20] Q. Yao, X. Gao, Z. Gong, P. Ren, K. Qiu, and Y. Liu (2011). Effects of some rare earth elements on liquid fermentation of *Ganoderma lucidum* to produce polysaccharides and triterpenoids. *Food Science*, **32(5)**, 224-227.
- [21] Y. Yuan and Z. Hu (1993). Effect of rare earth elements on plant cell culture of *Catharanthus roseus*. *China Rare Earth*, **14**, 30.
- [22] J. Wu, C. Wang, and X. Mei (2001). Stimulation of taxol production and excretion in *Taxus* spp. cell cultures by rare earth chemical lanthanum. *Journal of Biotechnology*, **85(1)**, 67-73.
- [23] K. K. Lu, Z. Z. Chang, D. Q. Pei, D. A. Guo, J. H. Zheng, and X. Wang (1998). Effects of rare earth element on rhubarb callus growth and anthroquinone level. *Northwest Pharm J*, **5**, 199.
- [24] Z. J. Zhou Jie, Z. J. Zhang Ji, G. L. Guo LanPing, L. G. Li Geng, Y. G. Yang Guang, Z. M. Zhao ManQian, and H. L. Huang LuQi (2010). Effects of lanthanum on leaf photosynthesis and artemisinin accumulation in *Artemisia annua*.
- [25] J. T. Zhang, D. F. Cui, and Q. S. Ding (1995). Studying effect of rare earth elements on medicinal *Ganoderma lucidum* quality. *China Journal of Chinese Materia Medica*, **9**, 531-532.
- [26] Q. Zhu (2007). Effect of rare earth La on reduction of medicinal plants absorbing Pb. *World Health Digest*, **4**, 48-52.
- [27] D. Liu, X. Wang, Y. Lin, Z. Chen, H. Xu, and L. Wang (2012). The effects of cerium on the growth and some antioxidant metabolisms in rice seedlings. *Environmental Science and Pollution Research*, **19**, 3282-3291.
- [28] C. Zhang, Q. Li, M. Zhang, N. Zhang, and M. Li (2013). Effects of rare earth elements on growth and metabolism of medicinal plants. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, **3(1)**, 20-24.
- [29] Bộ Y tế (2019). Quyết định 3657/QĐ-BYT 2019: Danh mục 100 dược liệu có giá trị y tế và kinh tế cao. [Online]. Available: <https://luatvietnam.vn/...>