

ORIGINAL ARTICLE

균근균을 활용한 구상나무(*Abies koreana* E.H.Wilson) 유묘의 생육 증진 효과

박재현 · 서한나 · 윤혜영¹⁾ · 임효인*

국립산림과학원, ¹⁾㈜브레인트리생명공학연구소

Growth Enhancement Effect of Korean Fir (*Abies koreana* E.H.Wilson) Seedlings Using Mycorrhizal Fungi

Jae-Hyun Park, Han-Na Seo, Hye Young Yun¹⁾, Hyo-In Lim*

Forest Bioinformation Division, National Institute of Forest Science, Suwon 16631, Korea

¹⁾Braintree Biotechnology Institute, Seoul 02011, Korea

Abstract

This study investigated the effects of two mycorrhizal fungi, *Pisolithus tinctorius* and *Oidiodendron maius*, on the growth and age-specific responses of Korean fir (*Abies koreana* E.H.Wilson) seedlings. The experiment was conducted from March 2020 to March 2023 at the National Institute of Forest Science in Suwon, South Korea to evaluate plant height, root length, root collar diameter, and biomass in the treatment and control groups. Significant growth increases were observed in all treatment groups compared to the control, with the OI (*O. maius*) treatment demonstrating the highest growth increase ($p < 0.05$). In one-year-old seedlings, the PT (*P. tinctorius*) treatment demonstrated overall higher growth than the OI treatment and control, with PT demonstrating an approximately 1.3 times increase than OI. The PT and OI treatments both exhibited higher growth than the control in the three-year-old seedlings, with less difference between the two treatments than in the one-year-olds. Both the treatments showed approximately 1.8 times more growth than the control in the five-year-old seedlings, and the OI treatment showed approximately 0.5 times more growth than PT. These results confirm that the OI treatment is generally more effective for the growth of Korean fir seedlings. Although the PT treatment was more beneficial in the one-year-old seedlings, OI was more effective in three-year-old and older seedlings. This suggests that early mycorrhizal inoculation has a significant long-term effect on growth, emphasizing the importance of age-specific mycorrhizal applications in forest conservation and restoration strategies.

Key words : Endangered species, Forest restoration, Soil microorganisms, *Pisolithus tinctorius*, *Oidiodendron maius*

1. 서론

구상나무(Korean fir)는 1,300 m 이상의 아고산 지역인 지리산, 한라산, 덕유산 등에 분포하는 우리나라 고유종이며, 멸종위기종으로 IUCN 적색 목록 등급에

지정된 대표적인 침엽수 종이다(Hong and Lee, 1995; Kim et al., 2011; Lim et al., 2019; Chae et al., 2022). 또한 지속적인 기후변화로 인한 아고산대 구상나무의 서식지 감소는 매우 빠르게 진행되고 있다(Lee et al., 2023). 이에 구상나무 서식지 감소에 대

Received 4 July, 2024; Revised 29 August, 2024;

Accepted 30 August, 2024

*Corresponding author : Hyo-In Lim, Forest Bioinformation Division,
National Institute of Forest Science, Suwon 16631, Korea
Phone : +82-31-290-1116
E-mail : iistorm@korea.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the
Creative Commons Attribution Non-Commercial License
(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits
unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction
in any medium, provided the original work is properly cited.

한 보존 및 복원 대책으로 서식지 환경 규명, 야생동물 피해, 토양 미생물 등 연구가 진행되고 있다(Kim et al., 2017; Han et al., 2022; You et al., 2024).

균근균을 활용한 식물 서식지 복원은 기후 변화와 관련된 스트레스로부터 식물의 회복력을 높이고, 뿌리 시스템의 흡수 표면적을 확장하여 물과 영양소의 흡수를 개선하며, 토양 건강을 증진시키기 때문에 식물 서식지 복원 방법으로 관심을 받고 있다(Tang et al., 2024; Karunarathna, 2024). 식물 육묘 단계에서 초기 성장과 뿌리 성장을 개선하기 위해 균근균을 활용하며(Yen and Tajuddin, 2019), 양묘 단계에서 균근균을 접종한 식물을 복원지에 이식했을 때 묘목의 생존율과 성장이 개선된다고 하였다(Tawaraya and Turjaman, 2016). 또한, 자생 균근균을 활용하여 극한 환경 조건에서도 식물 뿌리 성장과 회복력을 크게 향상시켰으며(El Khaddari et al., 2022), 수목에 적합한 자생 균근균을 확인하고 선택하는 중요성을 강조하였다(Kebede et al., 2023). 구상나무와 균근균에 관한 국내 연구로는, 구상나무 근권 미생물의 역할 조사 연구(Han et al., 2022), *Subtercola endophyticus*을 활용한 구상나무 성장 연구(Jiang et al., 2022), 구상나무 건강에서 내생 미생물과 착생 미생물의 역할 연구(Choi et al., 2022), 구상나무 성장을 촉진하는 미생물 균집의 역할 연구(Jeong et al., 2023), *Aureobasidium*을 활용한 구상나무 가뭄 내성 연구(Park et al., 2024) 등이 활발히 진행 중이다. 이러한 연구들은 구상나무 보존과 복원에 있어 균근균의 중요성을 강조하며, 다양한 균근균 적용의 필요성을 제시하고 있다.

이에 본 연구는 모래밭버섯균(*Pisolithus tinctorius*)과 구상나무 자생 균근균(*Oidioidendron maius*)을 접종하여, 구상나무 유묘 성장의 효과와 연령에 따른 성장 효과를 검증하고자 한다. 이를 통해 구상나무에 활용 가능한 두 균근균의 적합한 활용 조건을 파악하고, 구상나무 유묘의 안정적인 생산 및 현장 복원 관리 방안 마련에 기여하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험구 설치 및 재료

본 연구는 경기도 수원시 권선구 오목천동에 위치한 국립산림과학원 산림생명자원연구부 야외 묘포장(37°15'03.0"N, 126°57'19.7"E)에서 수행되었다. 실험

기간은 2020년 3월부터 2023년 3월까지 진행되었다. 실험구는 균근균의 성장 효과를 검증하기 위해 CON (control), PT (*Pisolithus tinctorius*), OI (*Oidioidendron maius*)로 각각 15개체씩 3반복으로 설치하였다. 또한, 연령에 따른 성장 효과를 검증하기 위해 각 실험구를 1년생, 3년생, 5년생으로 나누어 총 405본을 식재하였다. 관수는 1주일 간격으로 실시하였고, 주기적으로 제초 작업을 실시하여 생육 환경을 보호하였다. 공시토양은 칩엽수 전용 상토(Trimom, Taeheong F&G, Korea)를 사용하였다. 상토는 고온 고압기(Autoclave, TOMY, Japan)에서 121°C로 20분간 처리하였다. 자작나무에서 분리한 유용균인 *Pisolithus tinctorius* (수목 강생 산림용, Braintree Biotechnology Institute, Korea)와 자생지 구상나무에서 분리한 유용균인 *Oidioidendron maius* (수목 강생 조경용, Braintree Biotechnology Institute, Korea)를 배양한 인공배양토를 혼합하였다. 공시 수종인 구상나무(Korean fir) 유묘는 지리산에서 채집한 종자를 성장 상에서 발아시킨 후, 실험 전까지 온실에서 동일한 환경 조건 하에 관리·재배하였다. 2020년 3월에 생장이 균일한 개체를 선별하여 실험구별로 식재하였다.

2.2. 성장 측정

실험이 종료된 2023년 3월에 처리별로 굴취하여, 최종 수고와 뿌리 길이, 근원경을 버니어 캘리퍼스(Vernier Calipers, SPARKFUN, Japan)를 이용하여 측정하였다. 그 결과를 이용하여 H/D 을 = 수고(cm)/근원경(mm)의 식에 따라 계산하였다. 또한, 잎, 줄기, 뿌리로 구분하여 세척한 후, 미세 전자 저울(MS300HS, MISUNG, Korea)로 생중량을 측정하고, 65°C에서 48시간 동안 건조시킨 후 건조량을 측정하였다.

2.3. 통계 분석

그룹 간 차이를 평가하기 위해 분산분석(ANOVA)은 Python (Python Software Foundation, USA)을 사용하여 'statsmodels' 패키지로 수행하였다. 사후 검증은 Tukey의 HSD (Honestly Significant Difference) 검정을 사용하여 특정 그룹 차이를 확인하였다. 모든 테스트에서 통계적 유의 수준은 $p < 0.05$ 로 설정하였다. 데이터 시각화는 'matplotlib' 패키지를 사용하였다.

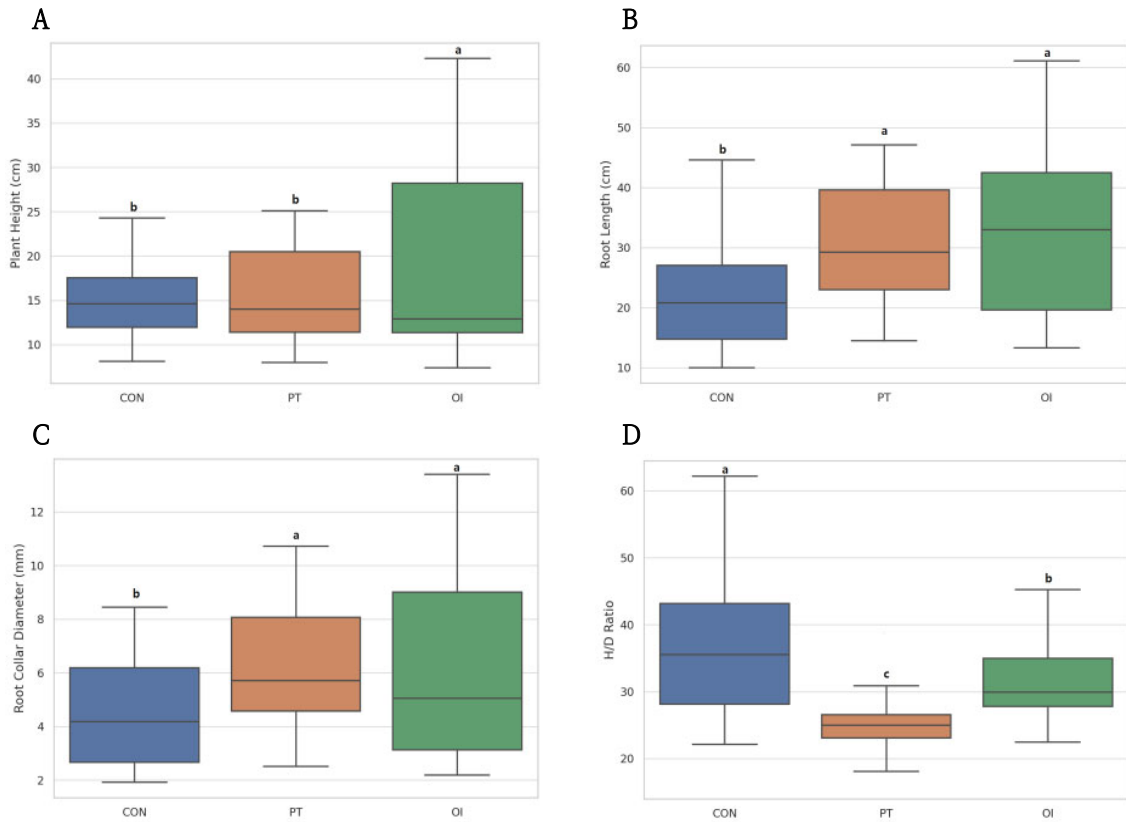


Fig. 1. Differences in Korean fir growth by mycorrhizal treatment: Plant height (A), Root length (B), Root collar diameter (C), H/D ratio(D); PT: *Pisolithus tinctorius*, OI: *Oidiodendron maius*; The analysis indicated that all measured variables showed significant changes over time ($p < 0.05$) and significant interactions between time and treatment groups ($p < 0.05$), with corrections for sphericity violations applied as necessary, ensuring the findings' statistical significance.

3. 결과 및 고찰

3.1. 균근균 처리에 따른 구상나무 유묘 생장 차이

균근균 처리에 따른 구상나무 유묘 생장 차이를 분석한 결과는 다음과 같다(Fig. 1). 수고, 뿌리 길이, 근원경, H/D율에서 모두 유의미한 생장 차이가 나타났다($p < 0.05$). 수고는 OI 처리구가 PT 및 무처리구보다 약 0.3배 증가하였고, 뿌리 길이 및 근원경은 OI 및 PT 처리구가 무처리구보다 약 0.5배 증가하였다. H/D율은 OI 및 PT 처리구가 CON 처리구보다 약 0.2배 감소하는 경향을 나타냈으며, PT 처리구가 OI 처리구보다 더 감소하였다. 전체적으로 균근균 처리가 무처리구보다 구상나무 유묘 생장에 효과가 있는 것으로 나타났으며,

OI 처리구가 PT 처리구보다 종합적으로 성장에 더 효과적인 것으로 사료된다. 선행 연구에 따르면, 균근균 처리는 식물의 생장에 도움이 된다고 하였으며, 본 연구에서도 구상나무 유묘 성장에 긍정적인 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 균근균이 식물의 영양소 흡수를 증가시켜 성장에 긍정적인 영향을 미친다고 보고하였다(Smith and Read, 2008). 또한, *Pisolithus tinctorius*는 소나무과 식물의 뿌리 성장과 생존률을 향상시키는 데 효과적이며(Frostegard et al., 1993), *Oidiodendron maius*은 식물의 질소 흡수와 대사 활동에 관여하여 성장을 증진시킨다고 하였다(Churkina et al., 2023; Pescie et al., 2023).

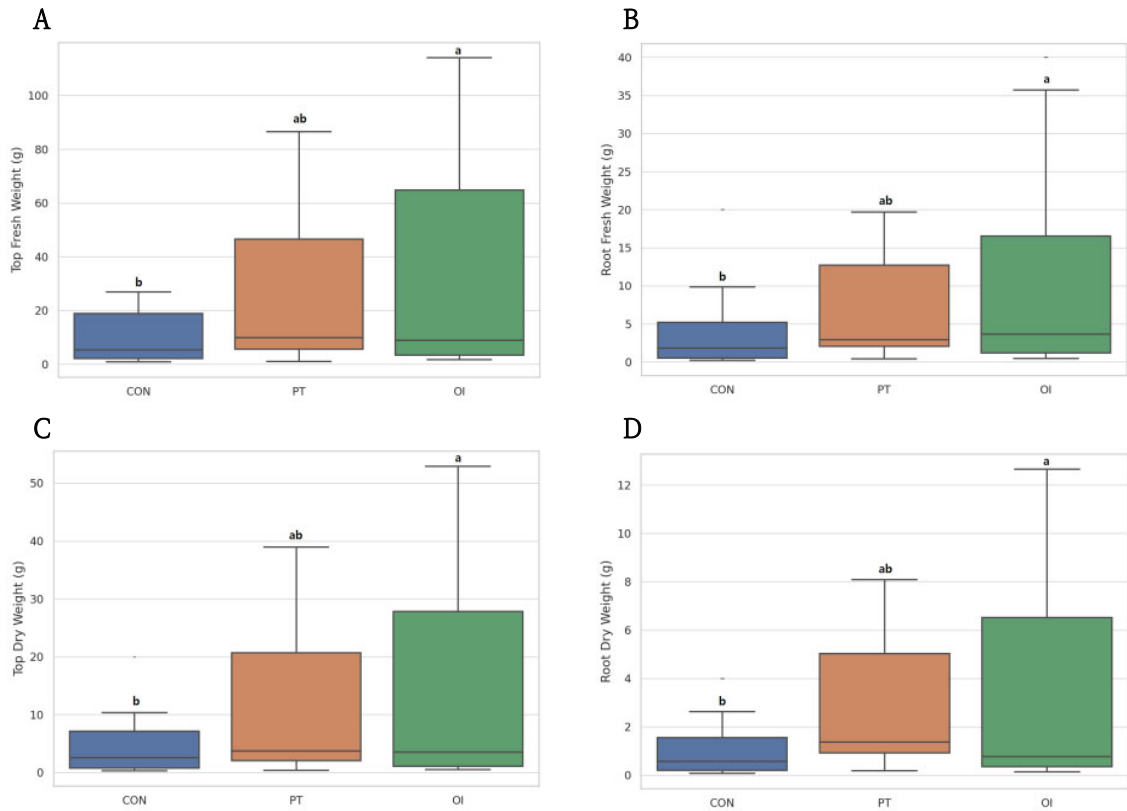


Fig. 2. Differences in Korean fir biomass by mycorrhizal treatment; Top fresh weight (A), Root fresh weight (B), Top dry weight (C), Root dry weight (D); PT: *Pisolithus tinctorius*, OI: *Oidiodendron maius*. The analysis indicated that all measured variables showed significant changes over time ($p < 0.05$) and significant interactions between time and treatment groups ($p < 0.05$), with corrections for sphericity violations applied as necessary, ensuring the findings' statistical significance.

3.2. 균근균 처리에 따른 구상나무 유묘 생체량 차이

균근균 처리에 따른 구상나무 유묘 생체량 차이를 분석한 결과는 다음과 같다(Fig. 2). 지상부 및 지하부에서 모두 유의미한 생체량 차이가 나타났다($p < 0.05$). 지상부 및 지하부의 생건중량의 차이는 $OI > PT > CON$ 순으로 나타났다. 균근균 처리가 무처리구보다 평균 1.8배 증가하였고, OI 처리구가 PT 처리구보다 평균 약 0.3배 더 증가하였다. 선행연구에 따르면, *Pisolithus tinctorius*는 수분 흡수에 영향을 주며 (Sebastiana et al., 2018), *Oidiodendron maius*는 양분 흡수율을 높여 바이오매스를 증가시킨다고 보고하였다(Baba et al., 2021). 본 연구에서도 같은 경향을 보였으며, *Oidiodendron maius* 처리가 구상나무 유묘

의 생장에 더 효과적인 것으로 나타났다.

3.3. 연령별 균근균 처리에 따른 구상나무 유묘 생장 차이

연령별로 균근균 처리에 따른 구상나무 유묘 생장 차이를 분석한 결과는 다음과 같다(Table 1). 다양한 연령대의 유묘를 대상으로 OI와 PT 처리에 따른 생장 차이를 측정하였다. 대부분의 연령대에서 OI 및 PT 처리구는 무처리구에 비해 유의미한 생장 증가를 보였다($p < 0.05$). 1년생 유묘에서 PT 처리구는 OI 처리구 및 무처리구보다 전체적으로 더 높은 생장 증가를 나타냈다. 특히 PT 처리구는 OI 처리구보다 약 1.3배 정도 더 증가하였다. 3년생 유묘에서는 PT 처리구와 OI 처리구

Table 1. Growth and physiological responses of Korean fir seedlings to the experimental group

Age	Experimental	Plant height (cm)	Root collar diameter (mm)	Root length (cm)	H/D ratio	Top fresh weight (g)	Root fresh weight (g)	Top dry weight (g)	Root dry weight (g)
1	CON	11.73a	2.63b	13.68c	44.97a	2.13b	0.49b	0.71b	0.19c
	PT	10.43a	4.29a	23.44a	25.78c	4.46a	1.92a	1.61a	0.82a
	OI	9.73a	2.94b	17.13b	33.33b	3.01b	0.91a	0.89b	0.31b
3	CON	13.97a	4.09b	21.93b	35.34a	5.99b	2.22b	2.47b	0.79a
	PT	14.03a	5.74a	29.22a	24.73b	9.65a	3.19ab	3.59a	1.24a
	OI	14.54a	5.11ab	29.24ab	30.27a	10.53a	3.61a	4.61a	1.09a
5	CON	17.91c	6.66c	28.58c	26.89b	23.72c	8.03c	9.29c	2.01c
	PT	21.53b	8.94b	39.36b	24.19b	58.81b	17.09b	25.49b	6.41b
	OI	32.74a	10.82a	49.96a	30.36a	86.02a	26.01a	37.58a	8.73a

*PT: *Pisolithus tinctorius*, OI: *Oidiodendron maius*. ; The analysis indicated that all measured variables showed significant changes over time ($p < 0.05$) and significant interactions between time and treatment groups ($p < 0.05$), with corrections for sphericity violations applied as necessary, ensuring the findings' statistical significance.



Fig. 3. Shape of roots by mycorrhizal fungus treatment; Top fresh weight (A), Control (HY8199, 2X) (B), OI: *Oidiodendron maius* (HY8213, 1.6X) (C), PT: *Pisolithus tinctorius* (HY8219, 2X).

모두 무처리구보다 높은 생장량을 보였으며, PT 처리구와 OI 처리구 간의 생장 차이는 1년생보다 적었다. 5년생 유묘에서는 처리구별 전체적인 생장의 차이가 더 명확하게 나타났다. 두 균근균 처리구는 무처리구보다 약 1.8배 정도 생장이 증가하였으며, OI 처리구는 PT 처리구보다 전체적으로 약 0.5배 더 높은 생장을 보였다. 선행연구에 따르면, 균근균 접종 효과는 식물의 연령에 따라 다르게 나타난다. *Pisolithus tinctorius*는 다양한 연령대의 식물에서 수분 흡수와 영양소 이동을 촉진하여 생체량 증가에 기여하는 것으로 알려져 있다 (Sebastiana et al., 2013). 초기 유묘 단계에서의 효과가 더 크며, 이는 초기 뿌리 발달과 관련이 깊다. 반면, *Oidiodendron maius*는 특히 초기 유묘 단계에서 양분 흡수를 촉진하여 바이오매스를 증가시키는 데 효과적이며, 연령이 증가함에 따라 그 효과가 생장으로

더욱 두드러지게 나타난다(Pescie et al., 2023). 본 연구에서도 이러한 경향이 확인되었으며, 식물의 발달 단계에 따라 균근의 반응이 다르다(Noraldeen et al., 2023). 초기 1년생에서는 PT 처리가 유리하였지만, 3년생 이상에서는 OI 처리가 더 효과적인 것으로 나타났다. 이는 초기 유묘 단계에서의 균근균 접종이 장기적인 생장에 미치는 영향을 고려할 때 중요한 시사점을 제공한다.

4. 결론

본 연구는 *Pisolithus tinctorius*와 *Oidiodendron maius* 균근균을 접종하여 구상나무(Korean fir) 유묘의 생장과 연령별 미치는 효과를 분석하였다. 연구 결과, 두 균근균 처리가 모두 생장 증가에 효과적이었다. 또한 모

든 연령대에서 두 균근균 처리구는 무처리구에 비해 유의미한 성장 증가를 보였으며, *Oidiodendron maius*가 *Pisolithus tinctorius*보다 더 높은 성장 효과를 나타냈다. 특히, 연령이 증가함에 따라 *Oidiodendron maius*의 효과가 더 두드러지게 나타났다. 초기 유묘 단계에서는 *Pisolithus tinctorius* 처리가 유리했으나, 3년생 이상에서는 *Oidiodendron maius* 처리가 더 효과적이었다. 이는 균근 접종이 초기 뿌리 발달과 장기적인 생장에 중요한 영향을 미친다는 것을 시사하며, 구상나무 유묘의 안정적인 생산 및 현장 복원 관리 방안 마련에 기여할 수 있음을 보여준다. 하지만, 향후 현장에서의 균근 활용에 대한 추가 연구가 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 산림청 국립산림과학원 “멸종위기 고산 침엽수종 보전을 위한 유전다양성 복원 기술 개발 (FG0802-2023-01-2024)”의 지원을 받았습니다.

REFERENCES

- Baba, T., Hirose, D., Noma, S., Ban, T., 2021, Inoculation with two *Oidiodendron maius* strains differentially alters the morphological characteristics of fibrous and pioneer roots of *Vaccinium virgatum* ‘tifblue’ cuttings, *Sci. Hortic.*, 281, 1-8.
- Chae, S. B., Lim, H. I., Kim, Y. Y., 2022, Selection of restoration material for *Abies koreana* E.H.Wilson based on its genetic diversity on Mt. Hallasan, *For.*, 13(1), 1-11.
- Choi, B. Y., Lee, S., Kim, J., Park, H., Kim, J. H., Kim, M., Park, S. J., Kim, K. T., Ryu, H., Shim, D., 2022, Comparison of endophytic and epiphytic microbial communities in surviving and dead Korean Fir (*Abies koreana* E.H.Wilson) using metagenomic sequencing, *For.*, 13(11), 1-13.
- Churkina, L. M., Brilkina, A. A., Berezina, E. V., 2023, Several characteristics of *Oidiodendron maius* G.L. barron important for heather plants’ controlled mycorrhization, *J. Fungi*, 9(7), 1-14.
- El Khaddari, A., El Ouazzani Touhami, A., El Gabardi, S., Aoujdad, J., Ouajdi, M., Kerdouh, B., Dahmani, J., 2022, Impact of inoculation by native endomycorrhizal fungi associated with *Tetraclinis articulata* on plant growth and mycorrhizal diversity in the forest nursery, *Acta Univ. Agric. Silv. Mendel. Brun.*, 70(3), 249-260.
- Frostegard, A., Baath, E., Tunlid, A., 1993, Shifts in the structure of soil microbial communities in limed forests as revealed by phospho lipid fatty acid analysis, *Soil Biol. Biochem.*, 25(6), 723-730.
- Han, G., Mannaa, M., Jeon, H., Jung, H., Kim, J. C., Park, A. R., Seo, Y. S., 2022, Dysbiosis in the rhizosphere microbiome of standing dead Korean Fir (*Abies koreana* E.H.Wilson), *Plants*, 11(7), 990.
- Hong, S. C., Lee, Y. W., 1995, Ecological studies on the vegetational characteristics of the *Abies koreana* E.H.Wilson forest, *J. Korean Soc. For. Sci.*, 84(2), 247-257.
- Jeong, M., Tagele, S. B., Kim, M. J., Ko, S. H., Kim, K. S., Koh, J. G., Jung, D. R., Jo, Y. J., Jung, Y. G., Park, Y. J., Kim, M. S., Lim, K., Shin, J. H., 2023, The death of Korean fir (*Abies koreana* E.H.Wilson) affects soil symbiotic fungal microbiome: Preliminary findings, *Front. For. Glob. Change*, 5, 1-12.
- Jiang, L., Peng, Y., Seo, J., et al., 2022, *Subtercola endophyticus* sp. nov., A Cold-adapted bacterium isolated from *Abies koreana* E.H.Wilson, *Sci. Rep.*, 12, 1-13.
- Karunarathna, S. C., 2024, Mycorrhizal fungi in sustainable agriculture and land restoration, *Agron.*, 14(4), 1-2.
- Kebede, J. Y., Pagano, M. C., Beyene, B. B., Tuji, F. A., 2023, Diverse arbuscular mycorrhizal fungi species associate with indigenous trees in a natural forest, *Mycol. Prog.*, 22(11), 1-12.
- Kim, E., Lee, J. Y., Choi, I., Lim, W., Choi, J., Oh, C. h., et al., 2017, Disturbance in seedling development of Korean fir (*Abies koreana* E.H.Wilson) tree species on higher altitude forests of Mt. Hallasan National Park, the central part of Jeju Island, Korea, *J. Ecol. Environ.*, 41, 1-13.
- Kim, Y. S., Chang, C. S., Kim, C. S., Gardner, M., 2011, *Abies koreana* E.H.Wilson, IUCN Red List Threat. Species, 2011, e.T31244A9618913.
- Lee, K., Kim, D., Cha, J., Hong, S., 2023, Fine-Scale species distribution modeling of *Abies koreana* E.H.Wilson across a subalpine zone in South Korea for in situ species conservation, *Sustain.*, 15(11), 1-15.
- Lim, J. H., Kim, E. S., Park, G. E., Kim, Y. S., Jang, K. C., Han, J. G., Jung, S. C., Lim, H. I., Lee, B. R., Song, W. K., et al., 2019, Status and conservation of endangered sub-alpine conifer species in Korea, National Institute of Forest Science, Seoul, Korea, 232-233.
- Noraldeen, S., Mustafa, S., Ahmed, A., 2023, Response of three kinds of winter ornamental plants to

- mycorrhiza fungus, Tikrit J. Agric. Sci., 23(2), 62-71.
- Park, J., Manna, M., Han, G., Jung, H., Jeon, H. S., Kim, J. C., Park, A. R., Seo, Y. S., 2024, Transcriptomic insights into *Abies koreana* E.H.Wilson drought tolerance conferred by *Aureobasidium pullulans* AK10, Plant Pathol. J., 40(1), 30-39.
- Pescie, M. A., Montecchia, M., Lavado, R. S., Chiocchio, V. M., 2023, Inoculation with *Oidiodendron maius* BP improves nitrogen absorption from fertilizer and growth of *Vaccinium corymbosum* during the early nursery stage, Plants, 12(4), 1-8.
- Python Software Foundation, Python language reference, Version 3.8. available at <http://www.python.org>.
- Sebastiana, M., Pereira, V. T., Alcantara, A., Pais, M. S., Silva, A. B., 2013, Ectomycorrhizal inoculation with *Pisolithus tinctorius* increases the performance of *Quercus suber* L. (cork oak) nursery and field seedlings, New For., 44, 937-949.
- Sebastiana, M., Silva, A. B. d., Matos, A. R., Alcantara, A., Silvestre, S., Malho, R., 2018, Ectomycorrhizal inoculation with *Pisolithus tinctorius* reduces stress induced by drought in cork oak, Mycorrhiza, 28, 247-258.
- Smith, S. E., Read, D. J., 2008, Mycorrhizal symbiosis, 3rd ed., Academic Press.
- Tang, H., Li, Q., Bao, Q., Tang, B., Li, K., Ding, Y., Luo, X., Zeng, Q., Liu, S., Shu, X., Liu, W., Du, L., 2024, Interplay of soil characteristics and arbuscular mycorrhizal fungi diversity in alpine wetland restoration and carbon stabilization, Front. Microbiol., 15, 1-11.
- Tawaraya, K., Turjaman, M., 2016, Mycorrhizal fungi in peatland, Trop. Peatland Ecosyst., 237-244.
- Yen, K. Y., Tajuddin, R., 2019, The arbuscular mycorrhizal fungi colonizing the roots of pre-nursery stage of oil palm seedlings: *Elaeis guineensis* in Malaysia, 52-59.
- You, Y., Park, J. M., Ku, Y., Jeong, T., Lim, K., Shin, J., et al., 2024, Fungal microbiome of alive and dead Korean fir in its native habitats, Mycobiology, 52(1), 68-84.
-
- Researcher. Jae-Hyun Park
Forest Bioinformation Division, National Institute of Forest Science
jh2344@korea.kr
 - Researcher. Han-Na Seo
Forest Bioinformation Division, National Institute of Forest Science
caragana2@korea.kr
 - Researcher. Hye Young Yun
Forest Bioinformation Division, National Institute of Forest Science
rustfungi@gmail.com
 - Researcher. Hyo-In Lim
Forest Bioinformation Division, National Institute of Forest Science
iistorm@korea.kr