University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

Influence of the Method of Inoculating Maize Seeds with Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Rhizobacteria under Different Fertilization Conditions

Raheleh Ghaleh Ghafi[1] | Hossein Hajiabaee[2] | Fathieh Nabhani[3] | Salvia Mohammadpour[4]✉ | Zahra Ardanji Kalate Siyahdasht[5]

1. Department of Agriculture, Islamic Azad University of Gorgan, Gorgan, Iran. E-mail: Raheleh.ghale@yahoo.com
2. Agronomy and Plant Breeding Department, Agriculture and Natural Resources Campus, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: Hoseinabaei@ut.ac.ir
3. Department of Agriculture, Islamic Azad University of Shoushtar, Shoushtar, Iran. E-mail: Fathiehnabhani@gmail.com
4. Corresponding Author, Faculty of Agronomy Department, Agriculture Campus, Baharan Higher Education Institute, Gorgan, Iran. E-mail: Salvia.mohamadpour@baharan.ac.ir
5. Shirvan University of Agriculture, Shirvan, North Khorasan, Iran. E-mail: Z.ardanji.2016@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 10 March 2021
Received in revised form
31 October 2022
Accepted 5 November 2022
Published online 30 September 2024

Keywords:
Biological fertilizers
Nutrition elements
Phosphorus
Seed coating
Symbiosis

ABSTRACT

Objective: This study was conducted with the aim of investigating the influence of mycorrhizal fungi (*Rhizophagus irigularis*) and rhizobacteria (*Pseudomonas fluorescens*) inoculation on maize under different fertilization conditions.

Methods: This study was carried out in two separate experiments under greenhouse settings in 2018. The first experiment aimed to compare the conventional soil inoculation method with microbial seed coating, and the second experiment strived to assess the growth of maize inoculated with mycorrhizal fungi and plant growth-promoting rhizobacteria via microbial seed coating at three treatment levels of Hoagland nutrient solution (Control, 80 and 100 volumetric percentage of Hoagland solution). In both experiments, one gram of maize roots and adhering soil were sampled 70 days after microbial seed coating and the available DNA was extracted from the maize rhizosphere.

Results: In the first experiment, no significant difference was observed between conventional soil inoculation and microbial seed coating concerning the dry weight of stems and roots, longitudinal colonization percentage of the roots, arbuscule abundance, vesicles abundance, and elemental concentration. In the second experiment and under full fertilization condition, mycorrhizal inoculation resulted in a significant increase in concentrations of nitrogen, phosphorus, potassium, and zinc (18.1, 3.5, 56 and 46.0 mg/kg, respectively) compared to the control treatment (12.6, 3.1, 39.6, and 24.4 mg/kg, respectively), and the bacterial inoculation exhibited a significant increase for magnesium, zinc, and manganese (2.0, 42.6, and 145 mg/kg, respectively) compared to the control treatment (1.0, 24.4, and 60 mg/kg, respectively).

Conclusion: Microbial seed coating could be regarded as a novel approach of large-scale inoculation of microorganisms in maize production.

Cite this article: Ghaleh Ghafi, R., Hajiabaee, H., Nabhani, F., Mohammadpour, S., & Ardanji Kalate Siyahdasht, Z. (2024). Influence of the Method of Inoculating Maize Seeds with Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Rhizobacteria under Different Fertilization Conditions. *Journal of Crops Improvement*, 26 (3), 487-501.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2022.320438.2529

© The Authors.
Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2022.320438.2529

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

شاپا الکترونیکی: ۲۳۴۵-۶۹۵۷

تأثیر روش مایه‌کوبی بذر ذرت با قارچ میکوریزای آربوسکولار و ریزوباکتری در شرایط کوددهی مختلف

راحله قلعه‌قافی[۱] | حسین حاجی ابایی[۲] | فتحیه نبهانی[۳] | سالویا محمدپور[۴]✉ | زهرا اردنجی کلاته سیاهدشت[۵]

۱. دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: Raheleh.ghale@yahoo.com

۲. گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: Hoseinabaei@ut.ac.ir

۳. دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر، شوشتر، ایران. رایانامه: Fathiehnabhani@gmail.com

۴. نویسنده مسئول، گروه زراعت، دانشکده علوم کشاورزی، مؤسسه آموزش‌عالی بهاران گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: Salvia.mohamadpour@baharan.ac.ir

۵. دانشگاه کشاورزی شیروان، شیروان، ایران. رایانامه: Z.ardanji.2016@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۱۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۹

کلیدواژه‌ها:

بذرمال

عناصر مغذی

فسفر

کودهای زیستی

همزیستی

چکیده

هدف: این مطالعه، با هدف بررسی تأثیر مایه‌کوبی قارچ میکوریزای آربوسکولار (*Rhizophagus irigularis*) و ریزوباکتری (*Pseudomonas fluorescens*) بر ذرت در شرایط مختلف کوددهی انجام شد.

روش پژوهش: این آزمایش به‌صورت گلخانه‌ای در سال ۱۳۹۷ طی دو آزمایش انجام شد. هدف از آزمایش اول مقایسه مایه‌کوبی مرسوم خاک با مایه‌کوبی بذرمال و هدف از آزمایش دوم نیز ارزیابی رشد ذرت مایه‌کوبی‌شده با قارچ میکوریزا و ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه از طریق بذرمال در سه سطح تیمار با محلول غذایی هوگلند (شاهد، ۸۰ و ۱۰۰ درصد حجمی محلول هوگلند) بود. در هر دو آزمایش، ۷۰ روز پس از تلقیح بذر، یک گرم از ریشه‌های ذرت و خاک چسبیده به آن نمونه‌برداری‌شده و استخراج DNA موجود در ریزوسفر ذرت انجام شد.

یافته‌ها: در آزمایش اول اختلاف معنی‌داری بین مایه‌کوبی مرسوم خاک با مایه‌کوبی بذرمال از نظر وزن خشک ساقه و ریشه، درصد کلونیزاسیون طولی ریشه، فراوانی آربوسکول، فراوانی وزیکول و غلظت عناصر مشاهده نشد. در آزمایش دوم و در شرایط کوددهی کامل، مایه‌کوبی توسط قارچ، باعث افزایش معنی‌دار غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم و روی (به‌ترتیب ۱۸/۱، ۳/۵، ۵۶ و ۴۶/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نسبت به تیمار شاهد (به‌ترتیب ۱۲/۶، ۳/۱، ۳۹/۶ و ۲۴/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و روش مایه‌کوبی بذرمال باکتری باعث افزایش معنی‌دار منیزیم، روی و منگنز (به‌ترتیب ۲/۰، ۴۲/۶ و ۱۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نسبت به تیمار شاهد شد (به‌ترتیب ۱/۰، ۲۴/۴ و ۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم).

نتیجه‌گیری: بذرمال می‌تواند شیوه جدیدی در مایه‌کوبی مقیاس وسیع میکروارگانیزم‌های مفید در تولید ذرت به‌حساب آید.

استناد: قلعه‌قافی، راحله؛ حاجی ابایی، حسین؛ نبهانی، فتحیه؛ محمدپور، سالویا و اردنجی کلاته سیاهدشت، زهرا (۱۴۰۳). تأثیر روش مایه‌کوبی بذر ذرت با قارچ میکوریزای آربوسکولار و ریزوباکتری در شرایط کوددهی مختلف. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۶ (۳)، ۴۸۷-۵۰۱.

DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2022.320438.2529

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

در عرصه کشاورزی فقط ۱۰ تا ۴۰ درصد از کل کودهای شیمیایی به‌کاررفته توسط گیاه جذب می‌شوند، میزان باقیمانده کود توسط طیف وسیعی از مکانیسم‌ها و یا فرایندها اتلاف می‌شود (بهاردواج[1] و همکاران، ۲۰۱۴). کودهای زیستی تا حد قابل‌توجهی قابلیت بهبود استفاده از مواد غذایی به‌طور کارآمد را داشته (خوارزمی[2] و همکاران، ۲۰۱۹) و از این طریق نیاز به کودهای شیمیایی را کاهش می‌دهند (علیزاد[3] و همکاران، ۲۰۱۸). به‌عبارت دیگر، میکروارگانیسم‌های مفیدی نظیر قارچ میکوریزا، می‌تواند براساس فرایندهای ویژه‌ای، خصوصیات کمی و کیفی گیاه زراعی را بهبود بخشند (باقری دهبندی[4] و همکاران، ۲۰۱۷). اتخاذ یک مسیر جدید در رویه‌های کشاورزی مستلزم کاهش فشار بر محیط و سلامت انسان می‌باشد. به‌منظور حفظ بهره‌وری و کاهش کاربرد ترکیبات شیمیایی کشاورزی، بهره برداری از میکروارگانیسم‌های مفید گیاهی همچون قارچ میکوریزای آربوسکولار (پوچیل[5] و همکاران، ۲۰۲۰) و ریزوباکتری‌های افزاینده رشد گیاه (ملوسا[6] و همکاران، ۲۰۱۶) از پتانسیل بالایی برخوردار هستند. نقش میکوریزا در کشاورزی به‌طور دقیق شناسایی شده است، زیرا این قارچ‌ها دارای ظرفیت تقویت سازگاری گیاه با افزایش جذب عناصر مغذی و آب و حفاظت آن‌ها در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی بوده و ساختار و کیفیت خاک را نیز ارتقا می‌دهند (نجیرو[7] و همکاران، ۲۰۱۵؛ اولیویرا[8] و همکاران، ۲۰۱۷a,b). از طرفی دیگر، محرک‌های زیستی رشد مسئولیت تسریع رشد و حفاظت از گیاه را از طریق مکانیسم‌هایی همچون تولید سیدروفور و فیتوهورمون‌ها، تثبیت نیتروژن، کاهش سطوح اتیلن، حلال سازی عناصر مغذی و القای مقاومت در برابر پاتوژن بر عهده‌دارد (نایک[9] و همکاران، ۲۰۱۹). در یک مطالعه، پیریز–رودریگز[10] و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که برخی باکتری‌های کمک‌کننده به میکوریزا همچون سودوموناس فلورسنس می‌تواند منجر به تسهیل کلونیزاسیون ریشه توسط قارچ میکوریزای آربوسکولار شده و در عین حال خواص باکتری‌های محرکی رشد را نیز بروز دهد. ذرت[11] با میزان تولید بیش از یک میلیارد تن در سراسر جهان در زمره بیش‌ترین محصول غله‌ای کشت‌شده در سراسر جهان قرار گرفته است که بدون تردید ارزش تغذیه‌ای و اقتصادی فوق‌العاده‌ای را دارا می‌باشد (زیربه[12]، ۲۰۱۵). برای تأمین نیازهای رشد محصول غله‌ای ذرت و برقراری ضرورت کشاورزی پایدارتر با کاهش مواد شیمیایی به‌کاررفته در کشاورزی، کودهای زیستی ابزاری مناسب و مفید بدین منظور می‌باشند (ملوسا[13] و همکاران، ۲۰۱۶؛ زارع[14] و همکاران، ۲۰۱۸).

۲. پیشینه پژوهش

مطالعات و بررسی‌های اخیر کارایی میکروب‌های مفید را در افزایش میزان رشد و بازده ذرت در آزمایش‌های میدانی

1. Bhardwaj
2. Kharazmi
3. Alizad
4. Bagheri Dehabadi
5. Püschel
6. Malusá
7. Njeru
8. Oliveira
9. Naik
10. Pérez-Rodriguez
11. *Zea mays* L.
12. Zerbe
13. Malusá
14. Zare

(پاینده[1] و همکاران، ۲۰۱۹؛ بیرتا[2] و همکاران، ۲۰۱۴) و گلخانه‌ای (کوئیلیروت[3] و همکاران، ۲۰۱۳) نشان داده‌اند. در یک مطالعه، کاظمی[4] و همکاران (۲۰۱۷) تلقیح بذر ذرت با چند گونه از قارچ میکوریزا را در شرایط اقلیمی استان مازندران موردبررسی قرار دادند و مشاهده کردند که تلقیح با این قارچ‌ها باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه ذرت شد به‌طوری‌که یکی از دلایل این افزایش عملکرد را، بهبود کارایی مصرف آب در این گیاه زراعی دانستند. در همین راستا، افزایش کارایی مصرف آب تحت تأثیر تلقیح بذر با قارچ میکوریزا و ریزوبیوم در گیاه زراعی نیشکر نیز گزارش شده است (احسانی‌پور[5] و همکاران، ۲۰۱۹). هم‌چنین، آقائی[6] و همکاران (۲۰۲۰) تأثیر کاربرد یونیکونازول، قارچ مایکورایزا و باکتری سودوموناس پوتیدا را بر صفات عملکرد، چندین مؤلفه رشد و محتوای کلروفیل گندم را موردبررسی قرار دادند و بیان کردند که بهبود عملکرد ناشی از کاربرد میکروارگانیسم‌های مفید ریشه، احتمالاً به‌دلیل بالارفتن سرعت رشد و طول دوره پرشدن دانه و در نتیجه، ذخیره بیش‌تر مواد در دانه است.

با وجود نتایج امید بخشی که در این بررسی‌ها حاصل شده است، کاربرد کودهای زیستی به‌همراه هم و به روش تلقیح بذر و در زمین‌های کشاورزی بسیار وسیع، از لحاظ اقتصادی امکان‌پذیر نمی‌باشد، زیرا توزیع غیرهدفمند ماده تلقیح در حوزه‌های وسیع منجر به تحمیل هزینه‌های بالا به‌ازای هر کشت می‌شود. به‌منظور استفاده از حداقل میزان مواد تلقیح، شیوه بذرمال، تکنیکی است که در آن یک ترکیب فعال خاص اطراف بذر را پوشش می‌دهد در این مطالعه، به‌عنوان مکانیسم تلقیح برای بذرهای ذرت پیشنهاد می‌شود (کولا[7] و همکاران، ۲۰۱۵). لذا اهداف این مطالعه شامل بررسی اثر بخشی شیوه تلقیح بذرمال و ارزیابی کاربرد مواد زیستی مذکور در حضور محلول هوگلند در تغذیه ذرت است.

۳. روش‌شناسی پژوهش

این مطالعه در قالب دو آزمایش جداگانه و همزمان انجام شد. هدف در آزمایش اول مقایسه تلقیح خاک و بذر با قارچ میکوریزای آربوسکولار و ریزوباکتری‌های افزاینده رشد گیاه و در آزمایش دوم ارزیابی وضعیت رشد ذرت مایه‌کوبی‌شده از طریق بذرمال در سه سطح مواد غذایی محلول بود. هر دو میکروارگانیسم از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان تهیه شد و هر دو آزمایش در گلخانه تحقیقاتی واقع در منطقه جلین گرگان با میانگین دمایی هشت تا ۲۸ درجه و رطوبت نسبی بین ۶۰ تا ۷۰ درصد در ماه‌های خرداد تا شهریور سال ۱۳۹۷ انجام پذیرفت. سطح متوسط دوره نوری در این گلخانه ۱۲ ساعت بود. برای هر دو آزمایش از گلدان‌های سه لیتری استفاده شد و به‌منظور به حداقل‌رساندن میزان تفاوت ناشی از موقعیت گلدان‌ها در گلخانه، موقعیت گلدان‌ها تعویض می‌شد. برای کاشت ذرت، ابتدا در هر گلدان سه بذر (بعد از اعمال تیمارهای ذیل) کشت شد و بعد از سبزشدن بوته‌ها، با تنک‌کردن گلدان‌ها در نهایت یک گیاهچه ذرت نگه داشته شد (برای حذف اثرات رقابت بین گیاهچه‌های ذرت).

آزمایش اول که در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد در بردارنده هفت تیمار بود؛ ۱- شاهد (مایه‌کوبی‌نشده)، ۲- ریزوفاگوس ایرگولاریس[8] مایه‌کوبی‌شده به خاک (RIsoil)، ۳- ریزوفاگوس ایرگولاریس

1. Payandeh
2. Berta
3. Couillerot
4. Kazemi
5. Ehsani Pour
6. Aghaei
7. Colla
8. *Rhizophagus irregularis*

مایه‌کوبی‌شده به‌صورت بذرمال (RICoat)، ۴- سودوموناس فلورسنس[1] مایه‌کوبی‌شده به خاک (PFsoil)، ۵- سودوموناس فلورسنس مایه‌کوبی‌شده به‌صورت بذرمال (PFcoat)، ۶- مخلوط ریزوفاگوس ایرگولاریس و سودوموناس فلورسنس مایه‌کوبی‌شده به خاک (RI+PFsoil) و ۷- مخلوط ریزوفاگوس ایرگولاریس و سودوموناس فلورسنس مایه‌کوبی‌شده به‌صورت بذرمال (RI+PFcoat). گیاهانی که با روش مایه‌کوبی در خاک و با ریزوفاگوس ایرگولاریس تیمار شدند، ۱۲ گرم ماده مایه‌کوبی الک‌نشده دریافت کردند به‌طوری‌که این مواد، در دو سانتی‌متری زیر هر بذر قرار گرفتند. در تیمار سودوموناس فلورسنس، یک میلی‌لیتر سوسپانسیون باکتریایی با غلظت 10^7 واحد تشکیل کلونی (CFU)[2] در میلی‌لیتر به گلدان اضافه شد و در تیمارهای بذرمال این مواد زیستی با ماده اندود ترکیب گردید. بعد از اندودکردن بذر، جمعیت باکتری اندازه‌گیری و شمارش شد و تعداد نهایی باکتری به‌ازای هر بذر اندودشده به‌صورت میانگین و تقریبی $CFU10^5$ به‌دست آمد. برای تعیین جمعیت مواد زیستی از طریق قراردادن یک بذر اندودشده در یک میلی‌لیتر محلول رینگر و رقیق‌سازی‌های ترتیبی برآورد گردید. در تیمار RI+PFsoil، هر گلدان یک بذر اندودنشده با ماده مایه‌کوبی را به اضافه ۱۲ گرم ماده مایه‌کوبی قارچی و یک میلی‌لیتر ماده مایه‌کوبی باکتریایی به همان ترتیبی که در بالا ذکر شد، دریافت کردند. گلدان‌های مربوط به گیاهان شاهد اندودنشده نیز یک بذر ذرت اندودشده با سیلیکون‌دی‌اکسید را دریافتند کردند. ترکیب به‌کاررفته در هر مورد چهار بار تکرار گردید. هر گیاه ۲۵ میلی‌لیتر محلول تغذیه‌ای هوگلند را به‌همراه ۲۰ درصد فسفر دو بار در هفته دریافت کرد (بیرتا[3] و همکاران، ۲۰۱۴).

در آزمایش دوم که به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد، اولین فاکتور، عامل مایه‌کوبی شامل شاهد (C)، ریزوفاگوس ایرگولاریس (RIcoat)، سودوموناس فلورسنس (PFcoat) و ریزوفاگوس ایرگولاریس (RI+PFcoat) بود که به‌صورت بذرمال اعمال شد و دومین فاکتور، کوددهی شامل شاهد (F0)، ۸۰ درصد محلول هوگلند همراه با ۲۰ درصد جرمی فسفر (F1) و محلول غذایی هوگلند (F2) بود. گیاهان کوددهی‌شده ۲۵ میلی‌لیتر محلول هوگلند مربوطه را به‌ازای هر گلدان و به تعداد دو بار در هفته دریافت کردند و گیاهان کوددهی‌نشده ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر دریافت کردند. روش مایه‌کوبی، مقادیر و غلظت‌های مواد مایه‌کوبی به‌کاررفته در آزمایش دوم دقیقاً مشابه آزمایش اول بود. هر کدام از ترکیب‌های به‌کاررفته در هر تیمار، چهار بار تکرار شدند.

خاک به‌کاررفته در این مطالعه (جدول ۱)، از یک مزرعه واقع در شمال گرگان گردآوری شده و پس از الک (۴ میلی‌متری) و دو بار اتوکلاو در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۵ دقیقه مورد استفاده قرار گرفت. رقم بذور ذرت مورداستفاده، سینگل کراس ۷۰۴ بود.

جدول ۱. پارامترهای فیزیکوشیمیایی خاک مورداستفاده در هر دو آزمایش

نوع خاک	مواد خنثی‌شونده (درصد)	کربن آلی (درصد)	اسیدیته	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر (پی‌پی‌ام)	پتاسیم (پی‌پی‌ام)
لوم شنی	۹/۵	۱/۲۹	۶/۵	۱/۰۱	۰/۱۳	۸/۴۸	۳۴۰

در این آزمایش، از قارچ ریزوفاگوس ایرگولاریس از ریشه گیاه شبدر قرمز (به‌عنوان گیاه میزبان) و سودوموناس فلورسنس از ریزوسفر باقلا ایزوله شده بود (اولیویرا[4] و همکاران، ۲۰۱۶). در رویه بذرمال، ماده مایه‌کوبی ریزوفاگوس

1. *Pseudomonas fluorescens*
2. Colony-forming unit
3. Berta
4. Oliveira

ایرگولاریس با یک غربال ۵۰۰ میکرومتری الک شده و با سیلیکون‌دی‌اکسید (با نسبت وزنی ۱:۱)، به‌عنوان ماده پوششی ترکیب شد. در گیاهانی که بذرمال نشده‌اند، مایه‌کوبی قارچ میکوریزای آربوسکولار بدون مرحله الک به‌کار رفت.

در هر دو آزمایش، وجود ریزوفاگوس ایرگولاریس در ریشه‌های ذرت با استفاده از روش‌های میکروسکوپی موردارزیابی قرار گرفت. براساس روش بیرتا[1] و همکاران (۲۰۱۴) ریشه‌های ذرت به قطعات یک سانتی‌متری برش خورده و با رنگ آبی تریپان جهت ارزیابی درصد کلونیزاسیون طولی ریشه و فراوانی آربوسکول‌ها و وزیکول‌ها رنگ‌آمیزی شدند. درصد کلونیزاسیون طولی ریشه توسط قارچ میکوریزای آربوسکولار در قطعات ریشه با استفاده از روش برش خطی و زیر یک استریو میکروسکوپ (Leica EZ4 HD، آلمان) تعیین شدند. فراوانی آربوسکول‌ها و وزیکول‌ها با استفاده از یک میکروسکوپ (Leica DM 5000-D، آلمان) و درصد فراوانی براساس روش ترووِیلوت[2] و همکاران (۱۹۸۶) بررسی شد.

در شرایط اقلیمی مناطق گرگان و گنبدکاووس، برداشت ذرت به‌صورت میانگین و تقریبی حدود ۷۰ روز پس از کاشت صورت می‌گیرد، لذا ۷۰ روز پس از کشت، یک گرم از ریشه‌های ذرت و خاک چسبیده به آن نمونه‌برداری شده و به یک لوله آزمایشگاهی ۵۰ میلی‌متری انتقال داده شد و در محلول نیتروژن مایع به سرعت منجمد شد. استخراج DNA مربوط به سودوموناس فلورسنس موجود در ریزوسفر ذرت با استفاده از روش توصیفی کوئیلیروت[3] و همکاران (۲۰۱۳) انجام پذیرفت. نمونه‌ها با استفاده از Precellys24 (Bertin Equipments، فرانسه) هموژنیزه شده و ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم از آن برای استخراج DNA برداشته شد. کمیت‌سنجی DNA با استفاده از سیستم سنجش فلورومتر انجام گرفت (Life Technologies، کانادا).

پرایمرهای به‌کاررفته با روش ارائه‌شده توسط وون فیلتن[4] و همکاران (۲۰۱۰) بر سودوموناس فلورسنس مورد سنجش قرار گرفت. کمیت‌سنجی با استفاده از PCR و براساس روش شرح داده‌شده توسط والکر[5] و همکاران (۲۰۱۱) انجام گرفت. سیستم مرحله اول به اضافه PCR در شرایط زیر به‌کار گرفته شد؛ ۲۰ میکرولیتر حجم واکنش با ۰/۳ میکرولیتر از هر پرایمر، دو میکرولیتر محلول حاوی DNA و ۱۰ میکرولیتر محلول سبز سایبر (Practical Biosystems، کانادا).

در هر دو آزمایش، گیاهان پس از گذشت دوره ۷۰ روزه برداشت شده و ریشه از ساقه جدا گردید و پس از شسته‌شدن، خاک‌های چسبیده به اطراف آن برداشته شد. در آزمایش دوم، ساقه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شده و سپس توزین شدند. بعد از خشک‌شدن، ساقه‌ها نیز خرد شده و طبق استاندارد EN 13805 اتحادیه اروپا (۲۰۱۴) هضم شدند. کل محتوای فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، گوگرد، آهن، منگنز و روی با طیف‌سنجی انتشار نوری تعیین گردید.

پس از انجام و تأیید همگنی واریانس‌ها، داده‌ها با استفاده از آنالیز واریانس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نرمال‌سازی داده‌ها با گرفتن ریشه دوم اعداد انجام شد. در آزمایش دوم اثرات اصلی عامل مایه‌کوبی، کوددهی و اثر متقابل آن‌ها مورد آنالیز قرار گرفت و زمانی که تأثیر تیمار معنی‌دار بود ($P<0/05$)، مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن[6] در سطح پنج درصد انجام شد. تمامی آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS (نسخه ۲۳) انجام شد.

1. Berta
2. Trouvelot
3. Couillerot
4. Von Felten
5. Walker
6. Duncan's multiple range test

۴. یافته‌های پژوهش

۴. ۱. آزمایش اول

نتایج آزمایش اول حاکی از آن بود که هیچ نوع اختلاف معنی‌داری از نظر وزن خشک ساقه و ریشه، درصد کلونیزاسیون طولی ریشه، فراوانی آربوسکول، فراوانی وزیکول و غلظت عناصر بین گیاهان مایه‌کوبی‌شده با روش معمولی در خاک و گیاهان مایه‌کوبی‌شده از طریق بذرمال مشاهده نشد (جدول‌های ۲ و ۳). هم‌چنین هیچ تأثیری از مایه‌کوبی باکتریایی در کلونیزاسیون ریشه توسط قارچ میکوریزای آربوسکولار مشاهده نگردید.

جدول ۲. تجزیه واریانس تأثیر مایه‌کوبی بر ریشه و ساقه ذرت در آزمایش اول

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		وزن خشک ساقه	وزن خشک ریشه	درصد کلونیزاسیون طولی ریشه	درصد فراوانی آربوسکول	درصد فراوانی وزیکول
مایه‌کوبی	۶	۰/۰۰۷۲ ns	۱۰۳/۶ ns	۰/۰۲۱۱ ns	۱۱۵۴/۵ ns	۶۱/۹ ns
خطا	۱۴	۰/۰۳۹۶	۵۷۰/۵	۰/۰۱۶۴	۸۹۷/۶	۱۷۶/۳
کل	۲۰	۰/۰۲۹۹	۴۳۰/۵	۰/۰۱۷۸	۹۷۴/۷	۱۴۲/۰
ضریب تغییرات (درصد)		۱۴/۱۲	۱۶/۲۲	۱۵/۸۶	۱۶/۹۰	۱۴/۳۱

ns: غیر معنی‌دار

جدول ۳. تجزیه واریانس تأثیر مایه‌کوبی بر غلظت عناصر در ساقه ذرت در آزمایش اول

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Mn
مایه‌کوبی	۶	۸/۵ ns	۲/۰۶ ns	۰/۱۰۵ ns	۵/۲۷ ns	۰/۰۸ ns	۱/۵۷ ns	۰/۰۳۸ ns	۱/۹۶ ns	۰/۰۹۴ ns
خطای آزمایشی	۱۴	۳۸/۲	۷/۳۵	۰/۲۲۶	۲۵/۵۴	۰/۲۷۴	۱۱/۴۰	۰/۲۳۵	۵/۰۳	۰/۱۹۶
کل	۲۰	۲۹/۳	۵/۷۷	۰/۱۹۰	۱۹/۴۶	۰/۲۱۸	۸/۴۵	۰/۱۷۶	۴/۱۰	۰/۱۶۵
ضریب تغییرات (درصد)		۱۲/۳۳	۱۱/۴۵	۱۳/۹۴	۱۴/۳۱	۱۲/۹۳	۱۳/۷۴	۱۴/۳۲	۱۱/۲۹	۱۳/۹۹

ns: غیر معنی‌دار

۴. ۲. آزمایش دوم

در این مطالعه، تأثیر مایه‌کوبی بر وزن خشک ریشه در سطح احتمال پنج درصد و تأثیر کوددهی بر وزن خشک ساقه و ریشه ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). اثر متقابل مایه‌کوبی و کوددهی نیز تنها بر وزن خشک ریشه در سطح احتمال پنج درصد اثر معنی‌داری داشت (جدول ۴).

جدول ۴. تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مایه‌کوبی و کوددهی بر ریشه و ساقه ذرت در آزمایش دوم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		وزن خشک ساقه	وزن خشک ریشه	درصد کلونیزه طولی ریشه	درصد فراوانی آربوسکول	درصد فراوانی وزیکول
مایه‌کوبی (I)	۳	۲/۴۵۷ ns	۳/۸۷۵ *	۴۵۵/۲۰ ns	۲۰۹/۱۵ ns	۳۸۹/۵ ns
کوددهی (F)	۲	۲۱۸/۲۱ **	۶۰/۴۴۲ **	۷۶۲/۱۳ ns	۳۸۰/۸۱ ns	۶۷۳/۲ ns
I × F	۶	۱/۴۴۱ ns	۳/۶۷۴ *	۵۸۴/۶۵ ns	۴۸۹/۹۰ ns	۷۹۳/۹ ns
خطا	۳۶	۱۹/۸۲	۱/۶۲	۱۴۸۲/۱۸	۳۴۶۷/۸۵	۶۴۹۵/۳۰
ضریب تغییرات (درصد)		۱۶/۸۸	۱۴/۲۲	۱۱/۳۳	۱۶/۱۰	۱۵/۱۱

* و **: تأثیر معنی‌دار به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns: غیر معنی‌دار.

هم‌چنین، نتایج نشان داد مایه‌کوبی، تأثیر معنی‌داری بر غلظت تمامی عناصر موردبررسی داشت، درحالی‌که تأثیر کوددهی، تنها بر غلظت عناصر نیتروژن (در سطح احتمال یک درصد) و فسفر (در سطح احتمال پنج درصد) معنی‌دار بود و اثر متقابل مایه‌کوبی و کوددهی تنها بر فسفر معنی‌دار بود (در سطح احتمال پنج درصد) (جدول ۵).

جدول ۵. تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مایه‌کوبی و کوددهی بر غلظت عناصر در ساقه ذرت در آزمایش دوم

منابع تغییر	درجات آزادی	میانگین مربعات								
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Mn
مایه‌کوبی (I)	۳	۱۵/۵**	۷/۶**	۱۲/۱**	۵/۵*	۸/۷**	۳/۴*	۳/۹*	۱۱/۱**	۱۰/۱**
کوددهی (F)	۲	۶/۲**	۵/۱*	۰/۸ns	۲/۵ ns	۰/۰۱ ns	۰/۶ ns	۰/۵ ns	۱/۲ ns	۱/۲ ns
I × F	۶	۱/۶ ns	۲/۹*	۱/۷ ns	۱/۷ ns	۰/۷ ns	۰/۸ ns	۰/۲ ns	۱/۱ ns	۱/۱ ns
خطا	۳۶	۵/۱۸	۱/۸۰	۸/۱۲	۵/۳۳	۳/۶۴	۲/۷۳	۳/۱۲	۲/۹۸	۲/۸۴
ضریب تغییرات (درصد)		۹/۱۱	۱۱/۰۱	۱۰/۲۲	۱۶/۵۵	۱۴/۳۴	۱۵/۲۲	۱۶/۸۷	۱۵/۹۹	۱۴/۶۷

* و **: تأثیر معنی‌دار به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns: غیر معنی‌دار.

علاوه بر این، در آزمایش دوم، مایه‌کوبی دارای تأثیر مهم و معنی‌داری بر زیست‌توده ریشه بوده اما هیچ تأثیری بر ساقه‌ها نداشت، وجود تعامل بین مایه‌کوبی و کوددهی فقط در رابطه با ریشه‌ها معنی‌دار بود (جدول ۶). هم‌چنین، وزن خشک ریشه و ساقه ذرت به‌طور مستقیم و مثبت تحت تأثیر رژیم کوددهی بود. به‌عنوان مثال، ریشه‌ها و ساقه‌ها در رژیم کوددهی کامل دارای زیست‌توده بالا و در رژیم فاقد کوددهی زیست‌توده پایین‌تری را بدون توجه به نوع تیمار مایه‌کوبی از خود نشان دادند (جدول ۶).

جدول ۶. اثرات اصلی مایه‌کوبی و کوددهی بر زیست‌توده ریشه و ساقه ذرت در آزمایش دوم

اثر اصلی	سطح	وزن خشک ساقه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)
مایه‌کوبی	C	۲/۷۴ a	۰/۶۳ a
	PFcoat	۲/۶۱ a	۰/۶۱ ab
	RIcoat	۲/۵۱ a	۰/۵۰ b
	RI+PFcoat	۲/۷۷ a	۰/۶۲ ab
کوددهی	F0	۱/۵۲ c	۰/۳۷ c
	F1	۳/۰۶ b	۰/۶۱ b
	F2	۳/۸۸ a	۰/۹۵ a

حروف متفاوت در هر ستون برای هر اثر براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد باهم ندارند.

C: شاهد، PFcoat: سودوموناس فلورسنس، RIcoat: ریزو فاگوس ایرگولاریس، RI+PFcoat، مخلوط ریزوفاگوس ایرگولاریس+ سودوموناس فلورسنس

F0: بدون کوددهی، F1: کوددهی اندک، F2: کوددهی کامل

از طرف دیگر گیاهانی که فقط به سودوموناس فلورسنس مایه‌کوبی‌شده بودند (PFcoat)، غلظت نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و منگنز آن‌ها افزایش یافت (جدول ۷). تیمارهایی که فقط ریزوفاگوس ایرگولاریس به آن‌ها افزوده شده بود (RIcoat)، افزایش معنی‌داری را در غلظت روی و نیتروژن ساقه در سطوح کوددهی کامل از خود نشان دادند (جدول ۷). با این وجود، نتایج مقایسه اثرات متقابل حاکی از آن بود که غلظت عناصر مغذی، زمانی تحت تأثیر مایه‌کوبی قارچی میکوریزای آربوسکولار قرار گرفتند که سطوح کوددهی F0 و F1 را داشتند. در تیمار RIcoat بدون کوددهی، غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، و منیزیم و

روی افزایش یافت. در رژیم کوددهی کم (F1)، همان عناصر مغذی ذکرشده افزایش یافت، حال آن‌که در شرایط کوددهی کامل (F2) فقط غلظت‌های نیتروژن و روی افزایش یافته بود (جدول ۷). هم‌چنین مقایسه اثرات متقابل نشان داد که گیاهان مایه‌کوبی‌شده با ریزوفاگوس ایرگولاریس+ سودوموناس فلورسنس (RI+PFcoat) افزایش معنی‌داری را در غلظت نیتروژن، کلسیم، منیزیم و روی در ساقه نشان دادند که غالباً در سطوح کوددهی F0 و F1 مشاهده شد (جدول ۷).

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر متقابل مایه‌کوبی و بذرمال بر غلظت عناصر در ساقه ذرت در آزمایش دوم

مایه‌کوبی	کوددهی	N (میلی گرم بر کیلوگرم)	P (میلی گرم بر کیلوگرم)	K (میلی گرم بر کیلوگرم)	Ca (میلی گرم بر کیلوگرم)	Mg (میلی گرم بر کیلوگرم)	S (میلی گرم بر کیلوگرم)	Fe (میلی گرم بر کیلوگرم)	Zn (میلی گرم بر کیلوگرم)	Mn (میلی گرم بر کیلوگرم)
	F0	۸/۴ d	۳/۰ ab	۳۵/۶ d	۲/۷ c	۱/۱ cd	۱/۰ ab	۷۱/۲ ab	۲۴/۰ cd	۵۸/۴ d
C	F1	۱۲/۷ bc	۲/۰ c	۳۹/۶ cd	۲/۲ c	۱/۲ bcd	۰/۹ b	۴۹/۱ b	۱۷/۲ d	۷۳/۱ cd
	F2	۱۲/۶ bc	۳/۱ ab	۳۹/۶ cd	۲/۵ c	۱/۰ d	۱/۱ ab	۶۴/۷ ab	۲۴/۴ cd	۶۰ cd
	F0	۱۱/۱ cd	۳/۶ ab	۵۶ abc	۵/۱ abc	۱/۵ a-d	۱/۲ ab	۱۰۸ ab	۳۶/۴ cd	۸۶ bcd
PFcoat	F1	۱۳/۴ bc	۲/۹ ab	۴۸ bcd	۶/۸ a	۱/۷ a-d	۱/۳ ab	۹۰/۷ ab	۳۴/۷ cd	۱۳۴ ab
	F2	۱۷/۶ a	۳/۲ ab	۵۸/۹ ab	۴/۰ abc	۲/۰ a	۱/۵ ab	۱۱۶/۲ a	۴۲/۶ bc	۱۴۵ a
	F0	۱۷/۶ a	۵/۸ a	۶۷/۱ a	۳/۴ bc	۱/۹ a	۱/۵ ab	۸۳/۲ ab	۶۶/۰ a	۷۰/۲ cd
RIcoat	F1	۱۸/۳ a	۳/۶ ab	۶۶/۵ a	۴/۷ abc	۱/۹ a	۱/۳ ab	۸۰/۳ ab	۴۲/۲ bc	۵۸/۹ d
	F2	۱۸/۱ a	۳/۵ ab	۵۶ abc	۴/۶ abc	۱/۸ ab	۱/۷ a	۸۳/۰ ab	۴۶/۰ ab	۵۷/۴ d
	F0	۱۵/۳ ab	۳/۷ ab	۳۹/۴ cd	۳/۸ abc	۱/۹ a	۱/۱ ab	۶۲/۹ ab	۵۴/۰ ab	۹۶ a-d
RI+PFcoat	F1	۱۶/۷ ab	۴/۱ ab	۳۹/۳ cd	۶/۳ ab	۱/۷ abc	۱/۵ ab	۶۰/۸ ab	۵۵/۷ ab	۹۹ a-d
	F2	۱۶/۴ ab	۳/۲ ab	۵۷ abc	۴/۳ abc	۱/۷ abc	۱/۱ ab	۵۷/۰ ab	۳۶/۶ cd	۱۱۳ abc

حروف متفاوت در هر ستون اختلاف معنی‌دار براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد.

C: شاهد، PFcoat: سودوموناس فلورسنس، RIcoat: ریزو فاگوس ایرگولاریس، RI+PFcoat، مخلوط ریزوفاگوس ایرگولاریس+ سودوموناس فلورسنس

F0: بدون کوددهی، F1: کوددهی اندک، F2: کوددهی کامل.

بررسی تأثیر مایه‌کوبی در غلظت عناصر مغذی ساقه ذرت نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار تمامی عناصر مغذی ارزیابی‌شده به‌غیر از فسفر و گوگرد در PFcoat، آهن و منگنز در RIcoat، پتاسیم، گوگرد و آهن در RI+PFcoat بود (جدول ۷). اثرات مهم کوددهی فقط در رابطه با غلظت‌های نیتروژن و فسفر ساقه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بود. از طرف دیگر، گیاهانی که فقط با سودوموناس فلورسنس مایه‌کوبی شده‌اند، افزایش بیش‌تری را در غلظت عناصر مغذی در زمان استفاده از رژیم کوددهی کامل از خود نشان دادند. این روند در غلظت عناصر منگنز، آهن و منیزیم مشاهده گردید، به‌طوری‌که بالاترین غلظت این عناصر (به‌ترتیب ۲/۰، ۱۱۶/۲ و ۱۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار کوددهی کامل حاصل گردید (جدول ۷).

۵. بحث

روش بذرمال به‌کاررفته در این پژوهش تأثیر مثبتی بر جوانه‌زنی بذر داشت. همین روش بذرمال که در رابطه با بذرهای دانه گندم و توسط اولیویرا[1] و همکاران (۲۰۱۶) انجام گرفته بود، که با میزان جوانه‌زنی ۱۰۰ درصد همراه بود. بذرهای

1. Oliveira

ذرت و گندم دارای اندازه و شکل‌های متفاوت می‌باشند که نشان‌دهنده کاربردپذیری این روش بذرمال در انواع غیرمشابه و غیریکسان بذرها می‌باشد. با توجه به هزینه نسبتاً بالای مایه‌کوبی قارچی میکوریزای آربوسکولار در هر گیاه، کاربرد آن در زمین‌های زراعی باز، از لحاظ اقتصادی امکان‌پذیر نمی‌باشد.

این بررسی نشان داد در رابطه با قارچ میکوریزای آربوسکولار، مایه‌کوبی با بذرمال، منجر به حصول کلونیزاسیون ریشه مشابه با مایه‌کوبی مرسوم و معمول خاک شد. نتایج قابل مقایسه‌ای نیز توسط اولیویرا[1] و همکاران (۲۰۱۶) حاصل شده است که در آن نیز بذرهای نخود با قارچ میکوریزای آربوسکولار اندود شده‌اند. با استفاده از روش بذرمال، باکتری‌های مایه‌کوبی‌شده زیست‌پذیری خود در بذر را از دست می‌دهند که این امر می‌تواند تأثیری منفی در کلونیزاسیون و مقاومت باکتری در خاک را به‌دنبال داشته باشد (پدرینی[2] و همکاران، ۲۰۱۶). با این‌حال بعد از انجام بذرمال و قبل از کاشت، بذرهای تیمارشده با سودوموناس فلورسنس غلظت $CFU10^5$ را به‌ازای هر بذرمال از خود نشان دادند که به‌نظر می‌رسد برای نشان‌دادن کلونیزاسیون موفق کافی است (کوئیلیروت[3] و همکاران، ۲۰۱۳).

پس از گذشت ۷۰ روز از کشت، امکان تشخیص سویه‌های باکتری‌های مایه‌کوبی‌شده در نمونه‌های خاکی و با روش‌های مولکولی وجود ندارد که این امر دلالت بر پایین‌بودن غلظت سودوموناس فلورسنس کم‌تر از حد آستانه تعیین شده می‌باشد. این واقعیت شاید با یافته‌های وون فیلتن[4] و همکاران (۲۰۱۰) در ارتباط باشد که کاهش تراکم جمعیتی سودوموناس فلورسنس F113 را با گذشت زمان نشان دادند. این کاهش می‌تواند با عوامل مختلفی همچون مهار مستقیم رشد، رقابت درون‌گونه‌ای برای منابع و یا نیاز به طیف بیش‌تری از منابع در مقایسه با سایر باکتری‌ها در ارتباط باشد (فارار[5] و همکاران، ۲۰۱۴).

در این مطالعه، مایه‌کوبی باکتریایی، تأثیر معنی‌داری بر کلونیزاسیون قارچی میکوریزای آربوسکولار ریشه نشان نداد. به‌نظر می‌رسد مایه‌کوبی و در نتیجه همزیستی بین ریشه ذرت و قارچ میکوریزای آربوسکولار انجام نشده باشد. بسته به نوع باکتری‌ها، رشد میکوریزا می‌تواند به‌طور منفی و یا مثبت تحت تأثیر قرار گیرد. با این‌حال، اثرات تحریکی سودوموناس فلورسنس در کلونیزاسیون ریشه‌ای قارچ میکوریزای آربوسکولار در مطالعه فعلی مدنظر قرار نگرفته زیرا هیچ تفاوتی درکلونیزاسیون مایکوریزای ذرت مشاهده نگردید. در این آزمایش نیز، بعد از فرایند روکش‌دارکردن بذر قبل از کاشت، بذرهای تیمارشده با سودوموناس فلورسنس غلظت $CFU10^5$ در هر بذرمال را نشان دادند، با این‌حال پس از گذشت ۷۰ روز از رشد گیاه، امکان تشخیص سویه باکتریایی با استفاده از روش‌های مولکولی به‌کاررفته فراهم نبود (داده‌ها نشان داده نشده است). از این‌رو، وجود سودوموناس فلورسنس در ریشه‌ها و ریزوسفر ذرت قابل تأیید نبود. در این بررسی، این واقعیت که وجود سودوموناس فلورسنس در خاک پس از گذشت ۷۰ روز تأیید نشد، نباید منجر به این نتیجه‌گیری گردد که هیچ نوع تأثیر باکتریایی در فازهای مختلف رشد گیاه وجود نداشته است. در مطالعات آتی، نمونه‌برداری در دوره مختلف زمانی و در سراسر رشد ریشه و به‌منظور درک رفتار باکتری‌های مایه‌کوبی و هم‌چنین درک تأثیر آن بر گیاهان هدف و تغییرات روی داده در غلظت باکتریایی در ریشه‌ها و ریزوسفر امری حیاتی و مهم خواهد بود.

ریشه‌ها و ساقه‌ها در رژیم کوددهی کامل دارای زیست‌توده بالا و در رژیم فاقد کوددهی زیست‌توده پایین‌تری را بدون توجه به نوع تیمار مایه‌کوبی از خود نشان دادند (جدول ۶). گیاهانی که در معرض سطح اندک کوددهی قرار داشتند، ضمن این‌که با ریزوفاگوس ایرگولاریس نیز مایه‌کوبی‌شده بودند، دارای زیست‌توده ریشه کم‌تری در مقایسه با سایر تیمارها بودند.

1. Oliveira
2. Pedrini
3. Couillerot
4. Von Felten
5. Farrar

به‌طور کلی، گیاهان مایه‌کوبی‌شده با میکروب‌های مفید، هیچ افزایش رشدی را از خود نشان ندادند. به‌نظر می‌رسد دلیل احتمالی آن مربوط به عدم کافی‌بودن جمعیت این میکروارگانیسم‌ها باشد و یا این‌که عوامل دیگری نیز لازم است تا تأثیر میکروارگانیسم‌ها بر رشد ذرت قابل‌توجه باشد. مانند مطالعه‌ای که توسط رستمی[1] و مالکی فراهانی[2] (۲۰۲۰) انجام شد و گزارش کردند که استفاده از مویان بعد از تلقیح با قارچ مایکوریزا، باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک علوفه ذرت گردید. هم‌چنین مقایسه اثرات متقابل نشان داد که گیاهان مایه‌کوبی‌شده با ریزوفاگوس ایرگولاریس+ سودوموناس فلورسنس افزایش معنی‌داری را در غلظت نیتروژن، کلسیم، منیزیم و روی در ساقه نشان دادند که غالباً در سطوح کوددهی F0 و F1 مشاهده شد (جدول ۷). نکته قابل ذکر این است که در گیاهان مایه‌کوبی‌شده با قارچ میکوریزای آربوسکولار افزایش در محتوای عناصر مغذی در تیمارهای کوددهی کم، بیش‌تر از تیمارهای کوددهی کامل بود. هیچ تأثیری از سوی ریزوفاگوس ایرگولاریس و یا سودوموناس فلورسنس در میزان غلظت‌های آهن و گوگرد ساقه ذرت مشاهده نگردید (جدول ۷). به‌نظر می‌رسد این عدم تأثیر، به‌دلیل نقش نداشتن این میکروارگانیسم‌ها در مکانیسم‌های دخیل در جذب آهن و گوگرد توسط ریشه باشد (فتاحی[3] و همکاران، ۲۰۲۱). باوجود این‌که گزارش شده است باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش میزان فسفر در بافت‌های مختلف گندم (برگ، ساقه و دانه) شد (امیدواری[4] و همکاران، ۲۰۲۰؛ علیخانی[5] و همکاران، ۲۰۲۰).

در مطالعه حاضر کوددهی بالاتر منجر به افزایش غلظت نیتروژن و کاهش غلظت فسفر در ساقه شد. ذرت گیاهی است که نیاز بیش‌تری به نیتروژن و فسفر داشته و غلظت این مواد معدنی در خاک می‌تواند رشد قارچی میکوریزای آربوسکولار را تحت تأثیر قرار دهد. در واقع، کلونیزاسیون قارچی اغلب دارای ارتباط منفی با مقادیر فسفر خاک می‌باشد (محمدی کاشکا[6] و همکاران، ۲۰۱۸). با این‌حال، نتایج هیچ نوع اختلاف معنی‌داری را در کلونیزاسیون قارچ میکوریزای آربوسکولار بین تیمارها در شرایط مختلف کوددهی نشان نداد. فسفر برای به حداکثررسانی میزان رشد گیاه و بازده محصول بسیار حیاتی است و نقش مهمی را در عملکردهای مختلف گیاه ایفا کرده و وزن خشک گیاه را افزایش می‌دهد. در نتیجه، نبود آن و یا افت سطوح آن پیامدهای منفی برای رشد گیاه به بار می‌آورد.

قارچ میکوریزای آربوسکولار و ریزوباکتری‌های افزاینده رشد گیاه هر دو با توجه به نقشی که در کشاورزی و به‌عنوان کودهای زیستی دارند، به‌خوبی بررسی و شناسایی شده‌اند (ندیم[7] و همکاران، ۲۰۱۴). با این وجود، کاربرد میکروارگانیسم‌های محرک رشد گیاه همواره در رشد گیاه مداخله نداشته بلکه در برخی موارد تأثیرات مفید دیگری را در گیاهان به‌دنبال داشته که از جمله می‌توان به افزایش عناصر مغذی اشاره کرد. با این‌حال، افزایش در غلظت عناصر مغذی گیاه همواره افزایش رشدونمو در گیاه و افزایش بازده را به‌دنبال نداشته است. در این مطالعه هیچ نوع افزایشی در زیست‌توده گیاهان مایه‌کوبی‌شده با میکروارگانیسم‌های مفید مشاهده نگردید و رشد گیاهی غالباً توسط تیمارهای کوددهی حاصل گردید. اگرچه هیچ نوع افزایش معنی‌داری در رشد گیاه مشاهده نشد، اما افزایش قابل‌توجهی در محتوای عناصر مغذی ساقه و در مایه‌کوبی باکتریایی مشاهده گردید که این افزایش در گروه F1 و یا گروه F0 بود. به‌صورت کلی، گیاهان، هم به ریزمغذی‌ها و هم به درشت‌مغذی‌ها برای تکمیل رشد نیاز دارند که از خاک جذب می‌کنند و ریشه‌های قارچی میکوریزای آربوسکولار تا حد وسیعی کسب عناصر مغذی معدنی در گیاهان میزبان را تقویت می‌کنند که در این مطالعه محتوای نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم و روی در ذرت دارای ارتباط مستقیم با مایه‌کوبی ریزوفاگوس ایرگولاریس به‌ویژه در تیمارهایی دارد که کوددهی در آن‌ها اندک بوده و یا فاقد

1. Rostami
2. Maleki Farahani
3. Fattahi
4. Omidvari
5. Alikhani
6. Mohammadi Kashka
7. Nadeem

کوددهی بوده‌اند. به‌نظر می‌رسد جذب ریزمغذی‌ها توسط گیاهان مایکوریزا به‌طور منفی و معکوس تحت تأثیر در دسترس‌پذیری فسفر در خاک دارد. اهمیت مایه‌کوبی قارچ میکوریزای آربوسکولار شاید در شرایط دسترس‌پذیری اندک به عناصر مغذی به‌ویژه فسفر، به حد نهایی خود رسیده باشد. در واقع حتی اگر هیچ اختلاف معنی‌داری در کلونیزاسیون مایکوریزا مشاهده نگردد، در این صورت افزایش غلظت عناصر مغذی موجود در ساقه‌ها می‌تواند مربوط به رژیم‌های کوددهی باشد. غلظت نیتروژن ساقه به‌طور مستقیم با کوددهی در ارتباط بوده و این امر شاید با نیاز بالای گیاه ذرت به نیتروژن در ارتباط باشد (فتحی[1] و طاهری اوشترینانی[2]، ۲۰۱۶).

در این پژوهش، گیاهانی که فقط با سودوموناس فلورسنس مایه‌کوبی‌شده‌اند، افزایش بیش‌تری را در غلظت عناصر مغذی در زمان استفاده از رژیم کوددهی کامل از خود نشان دادند. این روند در غلظت عناصر منگنز، آهن و منیزیم مشاهده گردید. این امر شاید نشان‌دهنده این واقعیت می‌باشد که خواص مؤثر باکتری‌ها با حضور سطوح بالاتری از عناصر مغذی در خاک تحریک شده و بروز می‌یابد (یاقوتی‌پور[3] و همکاران، ۲۰۱۸). این نتایج از این فرضیه کلی پشتیبانی می‌کند که مواد مایه‌کوبی میکروبی می‌تواند جذب عناصر مغذی توسط گیاهان را افزایش داده و در استراتژی‌های مدیریت تغذیه یکپارچه کاربرد مؤثری داشته باشد (بیرتا[4] و همکاران، ۲۰۱۴). این قابلیت در افزایش غلظت عناصر مغذی ارزش افزوده‌ای در مواد غذایی گیاهی می‌باشد که در حال حاضر توجه ویژه‌ای را به خود جلب کرده است.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

استفاده از میکروارگانیسم‌های مفید به‌عنوان کودهای زیستی ظاهراً می‌تواند نقش یک مسیر طبیعی را ایفا کند. به‌ویژه در سیستم‌هایی با ورودی نهاده‌های شیمیایی پایین، این میکروارگانیسم‌ها می‌توانند مسئولیت افزایش جذب مواد غذایی به‌طور کارآمد و در دسترس‌پذیری ریزمغذی‌ها در گیاهان را عهده‌دار شوند. گیاهان مایه‌کوبی‌شده با قارچ میکوریزای آربوسکولار و ریزوباکتری‌های افزاینده رشد گیاه از طریق بذرمال افزایش غلظت درشت‌مغذی‌ها و ریزمغذی‌ها را در رژیم‌های مختلف کوددهی از خود نشان داده‌اند که این نتایج نشان‌دهنده ضرورت افزودن کود جهت بهبود کارایی قارچ میکوریزا و ریزوباکتری‌هاست. افزایش در محتوای عناصر مغذی ذرت نشان می‌دهد که ترکیبات بذرمال حاوی میکروارگانیسم‌های محرک رشد گیاه، از طریق بذرمال برای بذور ذرت قابل استفاده بوده و به‌عنوان مؤلفه‌ای در استراتژی‌های مدیریت یکپارچه عناصر مغذی، بیش‌تر مورد توجه و بررسی قرار گیرند. این مطالعه، اولین گزارش در مورد بذرمال ذرت با مواد مایه‌کوبی قارچ میکوریزای آربوسکولار و ریزوباکتری‌های افزاینده رشد گیاه بوده و نشان‌دهنده پتانسیل بالای مایه‌کوبی میکروارگانیسم‌های محرک رشد گیاه در کشاورزی مقیاس وسیع می‌باشد، زیرا امکان استفاده از مقادیر اندک ماده تلقیحی و کاربرد دقیق‌تر آن را فراهم می‌سازد. از این‌رو، بذرمال می‌تواند شیوه جدیدی در مایه‌کوبی مقیاس وسیع میکروارگانیزم‌های مفید در تولید ذرت به‌حساب آید. به‌علاوه، انجام آزمایشات میدانی در مزارع ذرت و سایر محصولات می‌تواند در تأیید کارایی بذرمال به‌عنوان سیستم تحویل میکروبی و مزایای کاربردی آن مؤثر باشد.

1. Fathi
2. Taheri Oshtrinani
3. Yaghotipoor
4. Berta

۷. تشکر و قدردانی

از جناب آقای دکتر عبدالعزیز حقیقی بابت همکاری‌های بی‌دریغ و راهنمایی‌های کاربردی ایشان، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

احسانی‌پور، علی؛ عباس‌دخت، حمید؛ قلی‌پور، منوچهر و ابدالی مشهدی، علیرضا (۱۳۹۸). ارزیابی بهره‌وری آب، برخی صفات کمی و کیفی نیشکر درکشت مخلوط با لگوم. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۱(۳)، ۲۳۳-۲۴۶.

اقایی، فاطمه؛ سید شریفی، رئوف و نریمانی، حامد (۱۳۹۹). ارزیابی عملکرد، محتوای کلروفیل و مؤلفه‌های پرشدن دانه گندم در شرایط شوری خاک، کاربرد یونیکونازول و کودهای زیستی. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۲(۲)، ۲۶۹-۲۸۲.

امیدواری، شهرام؛ سلامتی، نادر و عبدی، صمد (۱۳۹۹). بررسی اثرات رژیم آبیاری و کود زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۲(۲)، ۱۹۳-۲۰۴.

باقری ده‌آبادی، محسن؛ مقدم، حسین؛ چایچی، محمدرضا و زیلوئی، نسرین (۱۳۹۶). بررسی میکوریزا و محلول‌پاشی آهن و روی بر صفات کمّی و کیفی سورگوم علوفه‌ای. *به‌زراعی کشاورزی*، ۱۹(۳)، ۷۹۹-۸۱۵.

پاینده، خوشناز؛ مجدم، مانی و دروگر، نازلی (۱۴۰۰). تأثیر کاربرد قارچ میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) سینگل کراس ۷۰۴ تحت رژیم های آبیاری. *اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۱۳(۳)، ۳۵۹-۳۷۶.

خوارزمی، کامبیز؛ امیرنیا، رضا؛ جلیلیان، جلال و تاجبخش شیشوان، مهدی (۱۳۹۷). بررسی اثر منابع مختلف کودی بر عملکرد علوفه، اسمولیت‌ها، رنگیزه‌های فتوسنتزی و برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی یونجه در شرایط کم‌آبیاری. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۰(۴)، ۸۱۵-۸۰۱.

رستمی، طیبه و ملکی فراهانی، سعیده (۱۳۹۵). تأثیر تلقیح مایکوریزا و کاربرد مویان بر خصوصیات علوفه‌ای ذرت هیبرید ۷۰۶ در شرایط کم‌آبیاری. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۲(۳)، ۳۳۳-۳۴۴.

فتحی، امین و طاهری اشترینانی، فدرا (۱۳۹۵). تأثیر میکوریز و فسفر با مصرف سالیسیلیک‌اسید بر برخی صفات ذرت. *اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۱۰(۳)، ۶۵۷-۶۶۸.

علیخانی، حسینعلی؛ امامی، سمیه و علیخانی، فاطمه (۱۳۹۹). ارزیابی کارایی باکتری‌های محرک رشد گیاه در کاهش مصرف کود شیمیایی فسفر در گندم. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۲(۴)، ۵۵۷-۵۶۹.

فتاحی، مسعود؛ محمدخانی، عبدالرحمان؛ شیران، بهروز؛ بانی‌نسب، بهرام و راوش، رودابه (۱۴۰۰). بررسی اثر هم‌زیستی قارچ مایکوریزا آربسکولار بر برخی پایه‌های پسته در شرایط تنش شوری و خشکی. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۳(۳)، ۶۸۲-۶۶۷.

کاظمی، شهریار؛ فرهمندفر، اسفندیار؛ پیردشتی، همت‌اله؛ محمودی، مجتبی و بابایی‌زاد، ولی‌اله (۱۳۹۶). تأثیر همزیستی گونه‌های قارچ میکوریزا و شبه میکوریزا بر بهره‌وری آب ذرت تحت سطوح مختلف آبیاری و فسفر در شرایط مختلف اقلیمی در استان مازندران. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۳(۳)، ۶۸۲-۶۶۷.

محمدی کشکا، فائزه؛ پیردشتی، همت‌اله و یعقوبیان، یاسر (۱۳۹۶). مایه‌زنی قارچ‌های *Piriformospora indica* و *Trichoderma virens* جهت بهبود صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مرتبط با عملکرد برنج در مقادیر مختلف کود فسفر. *اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۱۱(۴)، ۸۵۷-۸۷۴.

یاقوتی‌پور، آنیتا؛ براری، مهرشاد؛ زارع، محمدجواد؛ خاوازی، کاظم؛ طهماسبی، زهرا و ناصری، رحیم (۱۳۹۸). اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا بر ویژگی‌های فنولوژیک و فیزیولوژیک گندم در شرایط دیم. *اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۱۲(۲)، ۲۱۱-۲۳۶.

References

Aghaei, F., Seyed Sharif, R., & Narimani, H. (2020). Evaluation of Yield, Chlorophyll Content and Grain Filling Components of Wheat under Salinity Soil Conditions and Application of Uniconazole and Biofertilizers. *Journal of Crops Improvement*, *22*(2), 269-282. (In Persian).

Alikhani, H., Emami, S., & Alikhani, F. (2020). Evaluation of the efficiency of plant growth promoting bacteria in reducing phosphate fertilizer application in wheat. *Journal of Crops Improvement*, *22*(4), 557-569. (In Persian).

Alizad, L., Aghaei, K., & Mostafavirad, M. (2018). Effect of chemical, organic and biological fertilizers on growth and physiological characteristics of garlic (*Allium sativum* L.) in Guilan province. *Journal of Plant Production Research*, *25*(3), 55-68.

Bagheri Dehabadi, M., Moghadam, H., Chaichi, M., & Ziloee, N. (2017). The mycorrhiza and iron and zinc foliar application on quantitative and qualitative characteristics of forage sorghum. *Journal of Crops Improvement*, *19*(3), 799-815. (In Persian).

Berta, G., Copetta, G., Gamalero, A., Bona, E., Cesaro, E., Scarafoni, P., & D'Agostino, A. (2014). Maize development and grain quality are differentially affected by mycorrhizal fungi and a growth-promoting pseudomonad in the field. *Mycorrhiza*, *24*, 161-170.

Bhardwaj, D., Ansari, N., Sahoo, M., & Tuteja, R. (2014). Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microb and Cell*, *13*, 66-72.

Colla, G., Rouphael, M., Bonini, Y., & Cardarelli, P. (2015). Coating seeds with endophytic fungi enhances growth, nutrient uptake, yield and grain quality of winter wheat. *International Journal of Plant Production*, *9*, 171-190.

Couillerot, O., Ramírez-Trujillo, A., Walker, V., von Felten, A., Jansa, J., Maurhofer, M., Défago, G., Prigent-Combarte, C., Comte, G., Caballero-Mellado, J., & Moënne-Loccoz, Y. (2013). Comparison of prominent *Azospirillum* strains in *Azospirillum–Pseudomonas-Glomus* consortia for promotion of maize growth. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *97*, 4639-4649.

Ehsani Pour, A., Abbasdokht, H., Gholipoor, M., & Abdali Mashhadi, A. (2019). Evaluation of water productivity, some quantitative and qualitative traits of sugarcane in intercropping with legume. *Journal of Crops Improvement*, *21*(3), 233-246. (In Persian).

EN 13805. (2014). *Foodstuffs-determination of trace elements - pressure digestion*. Brussels, Belgium: European Committee for Standardization.

Farrar, K., Bryant, D., & Cope-Selby, N. (2014). Understanding and engineering beneficial plant– microbe interactions: plant growth promotion in energy crops. *Plant Biotechnology Journal*, *12*, 1193-1206.

Fathi, A., & Taheri Oshtrinani, F. (2016). The impacts of *Mycorrhiza* and phsphorus along with the use of salicylic acid on maize seed yield. *Journal of Crop Ecophysiology*, *10*(3), 657-668. (In Persian).

Fattahi, M., Mohammadkhani, A., Shiran, B., Baninasab, B., & Ravash, R. (2021). Evaluation of the Symbiotic Effect of Mycorrhiza Arbuscular on Some Pistachio Rootstocks under Salinity and Drought Conditions. *Journal of Crops Improvement*, *23*(3), 667-682. (In Persian).

Kazemi, S., Farahmand, E., Pirdashti, H., & Mahmoudi, M. (2017). The effect of coexisting of mycorrhiza-like and mycorrhiza fungi on water use efficiency of corn under different irrigation regimes and phosphorus in different climatic conditions of Mazandaran province. *Journal of Crops Improvement*, *19*(2), 371-386. (In Persian).

Kharazmi, K., Amirnia, R., Jalilian, J., & Tajbaksh, M. (2019). Investigating the effect of different fertilizer sources on the yield osmolites, photosynthetic pigments and some antioxidant enzymes of alfalfa under low irrigation condition. *Journal of Crops Improvement*, *20*(4), 801-815. (In Persian).

Malusá, E., Pinzari, L., & Canfora, F. (2016). Efficacy of biofertilizers: challenges to improve crop production. In *Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity*. India: Springer.

Mohammadi Kashka, F., Pirdashti, Y., & Yaghoubian, H. (2018). Inoculation with *Trichoderma virens* and *Piriformospora indica* for improving the morphological and physiological traits related to grain yield of rice under different rates of phosphorus fertilizer. *Journal of Crop Ecophysiology*, *11*(4), 857-874. (In Persian).

Nadeem, S. M., Ahmad, M., Zahir, M., Javaid, Z. A., & Ashraf, A. (2014). The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnology Advent*, *32*, 429-48.

Naik, K., Mishra, S., Srichandan, H., Singh, P. K., & Sarangi, P. K. (2019). Plant growth promoting microbes: potential link to sustainable agriculture and environment. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *21*, e101326.

Njeru, E., Avio, F., Bocci, L., Sbrana, G., Turrini, C., Bàrberi, A., & Oehl, P. (2015). Contrasting effects of cover crops on "hot spot" arbuscular mycorrhizal fungal communities in organic tomato. *Biology of Fertiled Soils*, *51*, 151-166.

Oliveira, R. S., Carvalho, H., Marques, P., Ferreira, G., Nunes, L., Rocha, M., Ma, I., Carvalho, Y., Vosátka, M. F., & Freitas, M. (2017a). Increased protein content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi and nitrogen-fixing bacteria under water deficit conditions. *Journal of Scientific Food and Agriculture*, *97*, 4379-4385.

Oliveira, R. S., Carvalho, P., Marques, G., Ferreira, L., Nunes, M., Rocha, I., Ma, Y., Carvalho, M. F., Vosátka, M., & Freitas, H. (2017b). Improved grain yield of cowpea (*Vigna unguiculata*) under water deficit after inoculation with *Bradyrhizobium elkanii* and *Rhizophagus irregularis*. *Crop and Pasture Science*, *68*, 1052-1059.

Oliveira, R. S., Rocha, I., Ma, M. F., Vosátka, M., & Freitas, H. (2016). Seed coating with arbuscular mycorrhizal fungi as an ecotechnological approach for sustainable agricultural production of common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Toxicology and Environmental Health*, *79*, 329-337.

Omidvari, S., Salamati, N., & Abdi, S. (2020). Study the effects of irrigation regime and biofertilizers on yield and yield component of wheat. *Journal of Crops Improvement*, *22*(2), 193-204. (In Persian).

Payandeh, K., Mojaddam, N., & Derogar, M. (2019). Effect of mycorrhiza and phosphate solublizing bacteria on yield of corn (*Zea mays* L.) (KSC 704) under different irrigation regimes. *Journal of Crop Ecophysiology*, *13*(3), 359-376. (In Persian).

Pedrini, S., Merritt, K., Stevens, D. J., & Dixon, J. (2016). Seed coating: science or marketing spin?. *Trends in Plant Science*, *22*, 106-116.

Pérez-Rodriguez, M. M., Pontin, M., Lipinski, V., Bottini, R., Piccoli, P., & Cohen, A. C. (2020). *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense* Increase Yield and Fruit Quality of Tomato under Field Conditions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *20*(4), 1614-1624.

Püschel, D., Bitterlich, M., Rydlová, J., & Jansa, J. (2020). Facilitation of plant water uptake by an arbuscular mycorrhizal fungus: a Gordian knot of roots and hyphae. *Mycorrhiza*, *30*, 299-313.

Rostami, T., & Maleki Farahani, S. (2020). Effect of application of mycorrhiza and surfactant on forage characteristics of maize (*Zea mays* L.) under deficit irrigation. *Journal of Crops Improvement*, *22*(3), 333-344. (In Persian).

Trouvelot, A., Kough, J. L., & Gianinazzi-Pearson, V. (1986). Mesure du taux de mycorhization VA d'un systeme radiculaire. Recherche de methodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. In V. Gianinazzi- Pearson and S. Gianinazzi editors. Physiological and genetical aspects of mycorrhizae. France: INRA Press.

Von Felten, A., Défago, M., & Maurhofer, G. (2010). Quantification of *Pseudomonas fluorescens* strains F113, CHA0 and Pf153 in the rhizosphere of maize by strain-specific real-time PCR unaffected by the variability of DNA extraction efficiency. *Journal of Microbiology and Methods*, *81*, 108-115.

Walker, V., Couillerot, O., Von Felten, A., Bellvert, F., Jansa, J., Maurhofer, M., & Comte, G. (2011). Variation of secondary metabolite levels in maize seedling roots induced by inoculation with *Azospirillum*, *Pseudomonas* and *Glomus* consortium under field conditions. *Plant and Soil*, *356*, 151-163.

Yaghotipoor, A., Tahmasebi, Z., Khavazi, K., Zarea, M., Barary, M., & Naseri, R. (2018). Effect of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi on phenological and physiological characteristics of wheat under dryland conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*, *12*(2), 211-236. (In Persian).

Zare, A., Asgharipour, M., & Fakheri, B. (2018). Effects of organic, biological and chemical fertilizers on quantitative traits of seedless barberry. *Journal of Plant Production Research*, *25*(1), 87-100.

Zerbe, P. (2015). Small molecules with big impact: terpenoid phytoalexins as key factors in maize stress tolerance. *Plant, Cell and Environment*, *38*, 213-219.