

اثر همزیستی میکوریزایی بر جذب عناصر غذایی توسط برخی ژنوتیپ‌های تجاری گیاه بادام در یک خاک لوم شنی

فاطمه آقابابائی^{۱*}، فایز رئیسی و حبیب اله نادیان

دانشجوی دکتری بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشگاه شهرکرد؛ Aghababaei_fateme80@yahoo.com

دانشیار گروه خاک، دانشگاه شهرکرد؛ f_raiesi@yahoo.com

استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه رامین اهواز؛ nadianhabib@yahoo.com

چکیده

همزیستی قارچ-گیاه یکی از مهمترین روابط متقابل مفید در اکوسیستم‌های زمینی است که اثرات مثبت آن بر رشد، فیزیولوژی و اکولوژی گیاهان مختلف در گذشته اثبات شده است. با وجود این، همزیستی قارچ‌های میکوریزایی با گیاه بادام و جذب عناصر غذایی توسط آن هنوز در کشور ایران مورد بررسی و مطالعه قرار نگرفته است. از این رو به منظور بررسی اثر همزیستی میکوریزایی بر جذب عناصر غذایی توسط ژنوتیپ‌های تجاری و بومی بادام در استان چهارمحال و بختیاری آزمایشی به صورت فاکتوریل شامل چهار ژنوتیپ بادام (مامایی، ربیع، تلخ و سفید)، دو سطح فسفر (۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و دو گونه قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae* و *Glomus intraradices*) به همراه یک تیمار بدون تلقیح) در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه برای مدت ۴ ماه اجرا شد. بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش همزیستی ژنوتیپ‌های مختلف گیاه بادام با قارچ‌های آریسکولار میکوریزا موجب افزایش غلظت و جذب عناصر غیر متحرک مانند فسفر و روی گردید، ولی غلظت عناصر نیتروژن، آهن و منگنز را در اندام هوایی کاهش داد این در حالی است که جذب این عناصر توسط گیاه افزایش یافته و با تغییری نشان نداد. تلقیح میکوریزایی موجب شد غلظت برخی عناصر مانند فسفر و روی در ریشه بادام افزایش یابد، ولی بر جذب مس و پتاسیم اثر مثبت نشان نداد. ارقام مختلف بادام نیز در برداشت عناصر غذایی از خاک اختلاف معنی‌دار نشان دادند ولی میزان و روند این اختلاف برای عناصر گوناگون یکسان نبود. نتایج نشان داد که گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا اثرات یکسان بر جذب و غلظت عناصر غذایی در ژنوتیپ‌های بادام دارند. به طور کلی، نتایج این مطالعه نشان داد که اثر قارچ میکوریزا بر تغذیه عناصر گوناگون در بادام متفاوت است و به نوع و توزیع عنصر غذایی بین اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاه بستگی دارد در حالی که گونه‌های قارچ در جذب عناصر غذایی به طور یکسان عمل کرده‌اند.

واژه‌های کلیدی: بادام، همزیستی میکوریزایی، خاک‌های آهکی و جذب عناصر غذایی

مقدمه

اجتناب ناپذیر است. یکی از راهکارهای تولید بیشتر محصولات کشاورزی افزایش عملکرد در واحد سطح

به دنبال رشد بی‌رویه جمعیت جهان در سال‌های اخیر تولید هرچه بیشتر محصولات کشاورزی

^۱. نویسنده مسئول، آدرس: شهرکرد، کیلومتر ۲ جاده سامان، دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی، گروه خاک، صندوق پستی ۱۱۵

* دریافت: آبان ۱۳۸۸ و پذیرش: دی ۱۳۸۹

معمولاً به واسطه افزایش جذب عناصر غیر متحرک از خاک صورت می گیرد (بولان، ۱۹۹۱). این همزیستی سبب تسریع تبادل عناصر غذایی بین گیاه میزبان و قارچ می شود (بولان، ۱۹۹۱؛ لی^{۱۲} و همکاران^b، ۱۹۹۱). از این رو استفاده از این همزیستی در گیاهان استراتژیک و مهم، که سطح کشت وسیعی در ایران دارند، می تواند بسیار مفید باشد. یکی از این گیاهان بادام است. گیاه بادام با نام علمی *Prunus amygdalus* یا *Communis amygdalus* از خانواده *Rosaceae* بوده و از جمله مهمترین محصولات باغی کشور ایران است. درخت بادام از جمله گیاهانی است که نیاز تغذیه ای بالایی ندارد و قادر است با مقادیر کم عناصر غذایی به خوبی رشد کند، ولی در بیشتر بادمستان ها حتی این نیاز هم برآورده نمی شود (رولدن-فاگاردو^{۱۳} و همکاران، ۱۹۸۲). از این رو جهت بهبود تغذیه درختان بادام گاهی استفاده از کودهای شیمیایی، آلی و یا بیولوژیک اجتناب ناپذیر است. به نظر می رسد چنانچه همزیستی بین این گیاه و قارچ های میکوریزا برقرار شود، بین سه کود یاد شده کودهای بیولوژیک مانند قارچ های میکوریزا که از نظر آلودگی، صرفه اقتصادی و عوارض زیست محیطی نسبت به دو گروه دیگر ارجحیت دارند، برای مصرف مناسب تر باشند. تاکنون تأثیر همزیستی میکوریزایی بر جذب عناصر غذایی در گیاهان زراعی مختلف مانند کاهو (آزکن^{۱۴} و همکاران، ۲۰۰۳)، بادام زمینی (بوپاندر^{۱۵} و همکاران، ۲۰۰۳)، شبدر قرمز (بی^{۱۶} و همکاران، ۲۰۰۳؛ لی و کریستی^{۱۷}، ۲۰۰۱)، سویا (لوپز-گوتیرز^{۱۸} و همکاران، ۲۰۰۴)، گندم (روسو^{۱۹} و همکاران، ۲۰۰۵) و یونجه (روسو و همکاران، ۲۰۰۵) مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج اغلب بررسی ها نشان می دهد که جذب عناصر گوناگون از قبیل نیتروژن (درزی و همکاران، ۱۳۸۷؛ ترسدر^{۲۰}، ۲۰۰۴)، فسفر (الکارکی^{۲۱}، ۲۰۰۰؛ ترسدر، ۲۰۰۴)، پتاسیم (مارش-نر^{۲۲} و دل^{۲۳}، ۱۹۹۴)، آهن (الکارکی، ۲۰۰۰؛ لیو^{۲۴} و همکاران، ۲۰۰۰)، روی (کالوت^{۲۵}

در میان مدت و بلندمدت از طریق مصرف نهاده ها از جمله انواع کودهای شیمیایی و زیستی است. از بین کودهای متفاوت، کودهای شیمیایی به دلیل مصرف راحت تر و اثر بخشی مناسب بیش از سایر کودها در گذشته مصرف شده اند، غافل از اینکه مصرف بیش از حد آنها آلودگی های زیست محیطی را به دنبال دارد (بیرنز^۱، ۱۹۹۰؛ هاجین^۲ و لونگارت^۳، ۱۹۹۶) و این مسئله یکی از دغدغه های بشر امروزی است (هاجین و لونگارت، ۱۹۹۶). برای حل این معضل ضروری به نظر می رسد راهکارهای مفیدی در زمینه کاهش مصرف انواع کودهای شیمیایی و متعاقب آن آلودگی های زیست محیطی ارائه گردد (شایو^۴ و میکلسن^۵، ۱۹۹۳). اغلب پژوهشگران بر این باورند که با یک مدیریت خوب و صحیح، با استفاده از کودهای بیولوژیک و ریز جانداران می توان شرایط تغذیه ای بهتری را برای گیاه فراهم کرد (بوکمن^۶، ۱۹۹۷؛ ویسی^۷، ۲۰۰۳). تعدادی از ریز جانداران در خاک وجود دارند که قادرند در تغذیه و جذب عناصر غذایی به طرق مختلف به گیاهان کمک کنند که از آن جمله می توان به همزیستی دو جانبه گیاه-ریز جاندار اشاره نمود (جفریز^۸ و همکاران، ۲۰۰۳). برخی از ریز جانداران خاک قادرند از طریق اشغال قسمتی از ریشه گیاهان با میزبان رابطه همزیستی برقرار نمایند (بولان^۹، ۱۹۹۱). در این میان همزیستی قارچ با گیاه شاید یکی از مهمترین پدیده های جالب و قابل توجه در اکوسیستم های طبیعی و کشاورزی به شمار آید (جفریز و همکاران، ۲۰۰۳). قارچ های میکوریزا قادر به برقراری همزیستی مسالمت آمیزی با ریشه اغلب گیاهان خشکی زی هستند. بر اثر این همزیستی دو طرف سود برده و به رشد و زندگی یکدیگر کمک می کنند (اسمیت^{۱۰} و رید^{۱۱}، ۱۹۹۷). اغلب گیاهان شناسایی شده بر روی کره زمین قادر به برقراری همزیستی با این قارچ ها هستند که البته این همزیستی بر اساس ریشه گیاه میزبان و ویژگی های مورفولوژیک قارچ همزیست متفاوت است (اسمیت و رید، ۱۹۹۷). مهمترین و بارزترین اثر مفید قارچ های میکوریزا، افزایش رشد گیاه میزبان است که

12. Li
13. Roldan-Fagardo
14. Azcon
15. Bhoopander
16. Bi
17. Christie
18. Lopez-Gutiérrez
19. Russo
20. Treseder
21. Al-Karaki
22. Marschner
23. Dell
24. Liu
25. Calvet

1. Byrnes
2. Hagin
3. Lowengart
4. Shaviv
5. Mikkelsen
6. Bockman
7. Vessey
8. Jeffries
9. Bolan
10. Smith
11. Read

هیف‌های قارچی، حد آستانه غلظت جهت جذب فسفر کاهش یافته و لذا سرعت جذب فسفر توسط آنها افزایش می‌یابد (بولان، ۱۹۹۱). سرعت جذب فسفر توسط گیاه شبدر سفید میکوریزایی $10^{-15} \text{ mol.S}^{-1}\text{cm}^{-1}$ $4/3-3/3$ می‌باشد (لی و همکاران (a)، ۱۹۹۱). طی مکانیسم سوم نیز هیف‌های قارچی با رهاسازی اسیدهای آلی و آنزیم‌های فسفاتاز موجب انحلال فسفر خاک می‌گردند و به همین دلیل جذب فسفر در خاک‌های فقیر از نظر منبع فسفر قابل جذب مانند خاک‌هایی که فسفات آهن و آلومینیوم دارند و یا حاوی سنگ فسفات هستند در گیاهان میکوریزایی افزایش نشان می‌دهد (بولان، ۱۹۹۱). این در حالی است که نقش قارچ‌های میکوریزا در جذب عناصر غذایی توسط بادام و عوامل مؤثر بر آن هنوز به‌طور دقیق مورد بررسی و مطالعه قرار نگرفته است. رولدن-فاگاردو و همکاران (۱۹۸۲) گزارش کردند تلقیح میکوریزایی بادام به‌خصوص در سطوح بالای فسفر، غلظت نیتروژن برگ‌ها را کاهش می‌دهد ولی اثر معنی‌دار بر غلظت پتاسیم ندارد، در حالی که کالوت و همکاران (۲۰۰۱) بیان کردند تلقیح میکوریزایی هیبرید هلو-بادام اثری بر غلظت نیتروژن گیاه نداشته و غلظت پتاسیم را در شرایط استرس بیماری‌های نامتدی افزایش می‌دهد. بنابراین، به نظر می‌رسد که نقش این قارچ‌ها در جذب عناصر غذائی مختلف توسط گیاه نه تنها به نوع گیاه، عنصر و گونه قارچ بلکه به شرایط محیطی حاکم بر رشد گیاه و مدیریت زراعی نیز بستگی دارد. به عنوان مثال، مطالعات زو^۹ و همکاران (۲۰۰۱) و کالوت و همکاران (۲۰۰۱) نشان دادند قارچ‌های میکوریزی غلظت روی و مس را در گیاه همزیست افزایش می‌دهد ولی اثری بر غلظت آهن و منگنز در گیاه نداشته است. البابی^{۱۰} (۲۰۰۲) نیز بیان کرد تعداد دفعات آبیاری می‌تواند بر غلظت عناصر کم‌نیاز در گیاه شبدر میکوریزایی اثر بگذارد و با افزایش دفعات آبیاری غلظت عناصر مس و مولیبدن در گیاه شبدر همزیست با آربسکولار میکوریزا افزایش می‌یابد. از این‌رو پس از بررسی امکان برقراری همزیستی میکوریزایی در چهار ژنوتیپ تجاری بادام و مشخص شدن کلونیزاسیون ۴۰٪ درصدی در اثر تلقیح با *Glomus intraradices* و *Glomus mosseae* و وابستگی میکوریزایی ۴۷-۲۷٪ بادام در ژنوتیپ‌های مختلف (آقابابائی و رئیس، ۱۳۸۸)، این تحقیق با هدف بررسی جذب عناصر غذایی پرنیاز (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و همچنین چهار عنصر کم‌نیاز (آهن، روی، مس

و همکاران، ۲۰۰۱؛ لی و کریستی، ۲۰۰۱)، مس (کالوت و همکاران، ۲۰۰۱؛ لیو و همکاران، ۲۰۰۰) و منگنز (امیرآبادی و همکاران، ۱۳۸۸؛ الکراکی، ۲۰۰۰) توسط گیاه در شرایط گلخانه ای و مزرعه‌ای در حضور این قارچ‌ها به طور نسبی افزایش یافته است. طی سال‌های اخیر مطالعات وسیعی روی اثرات همزیستی میکوریزایی بر جذب عناصر غذایی توسط انواع درختان میوه مانند سیب (شوبرت^۱ و لوبراکو^۲، ۲۰۰۰) و مرکبات (ایسنستات^۳ و همکاران، ۱۹۹۳) و بهبود تغذیه این گیاهان صورت گرفته است. نتایج اغلب تحقیقات نشان می‌دهد که همزیستی میکوریزایی جذب عناصر غذایی غیر متحرک در خاک، مانند فسفر و روی را به‌طور معنی‌دار افزایش می‌دهد (الکراکی، ۲۰۰۰؛ لیو و همکاران، ۲۰۰۰)، ولی بر غلظت عناصر متحرک در خاک مانند نیتروژن و پتاسیم یا تأثیری ندارد و یا آن را کاهش می‌دهد (کارولین^۴ و زاسوسکی^۵، ۱۹۸۳؛ مارشزنو و دل، ۱۹۹۴؛ راجو^۶ و همکاران، ۱۹۹۰؛ ترسدر، ۲۰۰۴). البته برخی ویژگی‌های ذاتی گیاه مانند تشریح آنزیم‌های مختلف و پمپ H^+ به محیط خارجی نیز در جذب عناصر غذایی توسط ریشه گیاهان مؤثر است (کوتاری^۷ و همکاران، ۱۹۹۱؛ پاکووسکی^۸، ۱۹۸۶). مکانیسم‌های گوناگونی می‌توانند موجب افزایش جذب فسفر توسط گیاهان میکوریزایی گردند که از بین آنها می‌توان به: ۱- جستجوی حجم بیشتری از خاک، ۲- بالا بودن سرعت جذب فسفر توسط هیف قارچ‌های میکوریزا و ۳- افزایش انحلال فسفر خاک اشاره کرد. جستجوی حجم بیشتری از خاک توسط گیاهان میکوریزایی موجب می‌شود فاصله بین یون‌های فسفر و ریشه گیاهان کاهش یابد (بولان، ۱۹۹۱). بررسی محدوده تخلیه فسفر در خاک‌های آهکی توسط شبدر سفید نشان داده است که به دلیل رشد سریع هیف‌ها در گیاهان میکوریزایی فاصله منبع فسفر جذب شده از مرکز ریشه گیاه ۱ cm است در حالی که در گیاه شاهد این فاصله به ۱۱/۷ cm افزایش می‌یابد (لی و همکاران (a)، ۱۹۹۱). همچنین پنخ شدن هیف‌های قارچی در خاک موجب افزایش سطح جذب می‌شود (بولان، ۱۹۹۱). از سوی دیگر به دلیل بالا بودن وابستگی و تمایل یون‌های فسفر به

1. Schubert
2. Lubraco
3. Eissenstat
4. Caroline
5. Zasoski
6. Raju
7. Kothari
8. Pacovsky

⁹. Zhu

¹⁰. El-Bably

با بافت درشت بود و سایر ویژگی های آن با روش های متداول آزمایشگاهی تعیین گردید (جدول ۱). نمونه خاک مورد استفاده پس از عبور از الک ۲ میلیمتری و انتقال به آزمایشگاه توسط دستگاه اتوکلاو، در دمای ۱۲۱ درجه سانتی گراد و فشار ۲۰ اتمسفر به مدت یک ساعت استریل شد.

پس از استریل کردن گلدان ها و انتقال خاک به آنها و اعمال تیمار فسفر در گلدان های دارای فسفر (به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار)، محیط کشت برای انتقال گیاهچه ها آماده شد. در هر گلدان سه گیاهچه در عمق ۵-۳ سانتی متری کاشته شد. در گلدان هایی که دارای تیمار قارچ میکوریزا آربسکولار بودند، پس از ایجاد سوراخ برای قرارگیری گیاهچه حدود ۱۰ گرم مایه تلقیح قارچ از نوع خاک حاوی پروپاگول های قارچی، حاوی ۳۰۰ تا ۵۰۰ اسپور و حدود ۱۰۰ سانتی متر ریشه کلونیزه شده از قارچ مورد نظر (*Glomus intraradices* یا *Glomus mosseae*) به داخل سوراخ ریخته شد و گیاهچه در خاک حاوی مایه تلقیح قرار گرفت. جهت جلوگیری از ایجاد محدودیت در رشد گیاه به دلیل فقر خاک از عناصر غذایی در روز بیست و پنجم کلیه گلدان ها، اعم از میکوریزایی و غیرمیکوریزایی توسط محلول غذایی هوگلند^۱ ولی بدون فسفر، تغذیه و به هر گلدان ۲۰ میلی لیتر از محلول غذایی اضافه شد.

پس از گذشت ۴ ماه از دوره رشد نهال های بادام، برداشت انجام گرفت. اندام هوایی و زیرزمینی گیاهان جدا شد و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد در آون خشک گردید. سپس نمونه ها توسط آسیاب خرد و ریز شده و به قطعات کوچکتر از یک میلی متر تبدیل شدند. از این نمونه ها یک گرم جهت سوزاندن و بدست آوردن خاکستر در کروزه های چینی ریخته شد و در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت و پس از سوختن به کمک ۱۰ میلی لیتر اسید کلریدریک ۱۵٪ عصاره گیری و به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده شد. برای تعیین مقادیر عناصر به جز نیتروژن از این عصاره استفاده شد (والینگ^۲ و همکاران، ۱۹۸۹). مقدار فسفر در عصاره ها به روش رنگ سنجی و با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر (اولسن^۳ و سامرز^۴، ۱۹۸۲) و پتاسیم نیز به کمک دستگاه فلیم فتومتر اندازه گیری و مقدار عناصر کم نیاز با استفاده از دستگاه جذب اتمی^۵ تعیین گردید. مقدار ۰/۵ گرم ماده خشک نیز

و منگنز) در گیاه بادام همزیست با دو گونه قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*، *Glomus intraradices*) و همچنین مقایسه میزان برداشت این عناصر در دو سطح فسفر در خاک انجام شد.

مواد و روش ها

در این مطالعه سه فاکتور قارچ میکوریزا شامل تلقیح با گونه *G.intraradices*، تلقیح با گونه *G.mosseae* و بدون تلقیح، فسفر در دو سطح، شامل بدون فسفر و ۱۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار از کود سوپر فسفات تریپل و چهار ژنوتیپ بادام شامل سفید، مامایی، تلخ و ربیع در سه تکرار انجام گرفت و جهت ارزیابی روابط بین فاکتورهای گیاه و تیمارهای اعمال شده (قارچ میکوریزا، فسفر و ژنوتیپ بادام) از طرح آزمایشی فاکتوریل در قالب بلوک های کاملاً تصادفی استفاده شد. جهت تهیه گیاهچه های بادام ابتدا توده های بذری از چهار ژنوتیپ مامایی، ربیع، تلخ و سفید موجود در باغات منطقه سامان در استان چهارمحال و بختیاری جمع آوری شد. سپس به منظور تسریع جوانه زدن، بذور بادام ابتدا شکسته شدند و پوست سخت آنها بدون آنکه به دانه صدمه ای وارد شود، جدا گردید. پس از شکستن آنها فقط از بین بذوری که هیچ آسیبی ندیده بودند و کاملاً سالم و بدون فشردگی و زخم بودند تعدادی بذر انتخاب و به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر خیسانده شد. پس از ۲۴ ساعت با استفاده از محلول ۵٪ هیپوکلریت سدیم بذور ضدعفونی شدند و سپس به طور کامل با آب مقطر استریل شسته شدند. پس از آن بذور به داخل ظروف پلاستیکی درب داری که قبلاً استریل شده بودند و کف آنها کاغذ صافی مرطوب قرار داده شده بود، انتقال داده شدند و جهت شکسته شدن خواب به مدت ۴۳ روز در یخچال و در دمای ۴ تا ۷ درجه سانتی گراد قرار داده شدند. طی این مدت روزانه کلیه ظروف توسط چند قطره آب مقطر استریل مرطوب می شدند و دوباره در یخچال قرار می گرفتند. پس از مدت فوق الذکر بذرها کم کم جوانه زده و ریشه چه از بذور بادام خارج گردید و گیاهچه ها جهت انتقال به محیط کشت اصلی آماده شدند.

سپس از آنجا که اثر گذاری قارچ های میکوریزا در خاک های فقیر از نظر عناصر غذایی با بافت شنی محسوس تر است و همچنین جداسازی ریشه ها از خاک پس از اتمام دوره آزمایش، از خاک های درشت بافت راحت تر است، یک نمونه خاک شنی از روستای چلوان در تراس میانی رودخانه زاینده رود واقع در ۳۵ کیلومتری شهرکرد مرکز استان چهارمحال و بختیاری با رژیم حرارتی مزیک و رطوبتی زیریک جمع آوری شد. این خاک آهکی

1. Hoagland Solution
2. Waling
3. Olsen
4. Sommers
5. Atomic Absorption

تنها اکتومیکوریزاها قادر به افزایش جذب نیترات در گیاه همزیست خود هستند ولی جذب آمونیوم می‌تواند به کمک هر سه گروه اکتومیکوریزا، اریکوئید میکوریزا و زیکولار آریسکولار میکوریزا افزایش پیدا کند.

به‌طور کلی در جذب عناصر غذایی متحرک مانند نیتروژن، کلسیم و منیزیم، نسبت تبخیر و تعرق و حرکت توده‌ای نقش بسیار مهمی دارد و هر قدر این نسبت بزرگ‌تر شود، این عناصر به میزان بیشتری توسط گیاه برداشت می‌شوند (بولان، ۱۹۹۱؛ مارشسر و دل، ۱۹۹۴؛ راجو و همکاران، ۱۹۹۰) ولی در جذب عناصر غذایی غیر متحرک در خاک مانند فسفر، روی و مس ویژگی‌های ریشه گیاه مانند سرعت رشد طولی ریشه، سرعت جذب عنصر توسط ریشه، طول کل ریشه و سطح جذب ریشه مؤثر هستند (بولان، ۱۹۹۱؛ لی و همکاران b، ۱۹۹۱). نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که حضور قارچ میکوریزا غلظت فسفر را در ریشه و اندام هوایی هر چهار ژنوتیپ بادام کشت شده افزایش داده است ($P < 0/01$) و نکته جالب آن است که غلظت فسفر در گیاه همزیست با قارچ در کلیه ژنوتیپ‌ها تقریباً برابر با غلظت فسفر در گیاهانی است که ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر به خاک آنها اضافه شده است (جدول ۳ و ۴). با توجه به آنکه مطالعات نشان داده‌اند که گیاهان میکوریزایی و غیر میکوریزایی مانند هم و به یک اندازه از فسفر متحرک خاک استفاده می‌کنند لذا گیاهان همزیست با قارچ‌های میکوریزا استفاده بیشتری از فسفر غیر متحرک خاک می‌برند (بولان، ۱۹۹۱). این نشان می‌دهد که تولید ریشه‌های برون ریشه‌ای توسط قارچ از یک سو و افزایش طول ریشه‌های گیاه از سوی دیگر می‌تواند در جذب فسفر از خاک‌هایی که حتی با کمبود فسفر روبرو هستند، نقش بسزایی داشته و اثرات کمبود را نه تنها کاهش دهد بلکه به کلی از بین ببرد. به‌طور کلی صرف‌نظر از آنکه تلقیح میکوریزایی باعث افزایش چشمگیر غلظت فسفر در اندام هوایی گیاه بادام می‌گردد، باید به این نکته دقت کرد که حضور میکوریزا در ژنوتیپ‌های مختلف بادام قادر است اثرات متفاوتی بر غلظت فسفر در گیاه بادام اعمال کند (جدول ۲ و ۳) که می‌توان برای روشن شدن دلیل این اختلاف از آزمایشات ژنتیکی و شناسایی ساختمان ژن مداخله کننده در این امر استفاده کرد. کلیه مطالعات گذشته نیز حاکی از افزایش جذب فسفر در گیاهان میکوریزایی نسبت به شاهد است (کوتاری و همکاران، ۱۹۹۱؛ کوسی^۳ و جانزن^۴، ۱۹۸۷؛

جهت هضم درون لوله‌های دستگاه کج‌دال ریخته شد تا میزان نیتروژن نمونه‌ها بدست آید (برمنر^۱ و ملوانی^۲، ۱۹۸۲). میزان برداشت عناصر با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید:

$$\text{Rootuptake} = \text{RootCe} \times \text{Rootd.wt.}$$

$$\text{Shootuptake} = \text{ShootCe} \times \text{Shoold.wt.}$$

Root Ce = غلظت عنصر در یک گرم ماده خشک ریشه بر حسب گرم عنصر در گرم ماده خشک

Shoot Ce = غلظت عنصر در یک گرم ماده خشک اندام هوایی بر حسب گرم عنصر در گرم ماده خشک

Root d.wt. = وزن خشک ریشه بر حسب گرم ماده خشک در گلدان

Shoot d.wt. = وزن خشک اندام هوایی بر حسب گرم ماده خشک در گلدان

در پایان تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط ANOVA و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح پنج درصد با کمک نرم افزار STATISTICA 6.0 انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج نشان می‌دهند همزیستی میکوریزایی باعث کاهش معنی‌دار غلظت نیتروژن هم در اندام زیرزمینی و هم اندام هوایی گیاه بادام در کلیه ژنوتیپ‌ها گردید (جدول ۲، ۳ و ۴). این کاهش در همزیستی با گونه *Glomus intraradices* حدود ۹٪ و در همزیستی با گونه *Glomus mosseae* حدود ۲۱٪ در مقایسه با گیاه تلقیح نشده بود (جدول ۳). با این حال گونه قارچ میکوریزی اثری بر غلظت نیتروژن در گیاه ندارد. مطالعات رولدن-فاگاردو و همکاران (۱۹۸۲) نیز نشان داد همزیستی میکوریزایی بادام با گونه بومی قارچ میکوریزا در اسپانیا غلظت نیتروژن را در گیاه کاهش می‌دهد. در حالی که مطالعه دیگری نشان داد میزان نیترات و آمونیوم در ریشه گیاه *Douglas-fir* میکوریزایی بیشتر از غیرمیکوریزایی است، ولی به دلیل افزایش بیومس اندام هوایی در این گیاه غلظت نیتروژن تغییری نشان نمی‌دهد (کارولین و زاسوسکی، ۱۹۸۳). راجو و همکاران (۱۹۹۰) نیز نشان دادند در سورگوم همزیست با گونه‌های *Glomus fasciculatum* و *Glomus macrocarpum*، غلظت نیتروژن در سطح ۵٪ افزایش معنی‌دار نشان می‌دهد ولی در گونه *Glomus intraradices* نه تنها افزایش نیافته بلکه در سطح ۵٪ کاهش معنی‌دار دارد. به نظر می‌رسد همزیستی میکوریزایی می‌تواند حدود ۲۵٪ از نیتروژن مورد نیاز گیاه میزبان را به آن تحویل دهد (مارشسر و دل، ۱۹۹۴). مارشسر و دل (۱۹۹۴) بیان کردند

3. Kucey

4. Janzen

1. Bremner

2. Mulvaney

این تحقیق نشان می دهد که میکوریزا غلظت آهن را در اندام هوایی گیاه بادام ۸۰٪ کاهش داده است (جدول ۳). در حالی که اختلاف معنی دار در غلظت آهن در ریشه گیاه بادام مشاهده نمی شود (جدول ۴). عدم وجود اختلاف بر اثر همزیستی میکوریزایی در غلظت آهن اندام زیرزمینی گیاه مؤید این مطلب است که آهن جذب شده توسط گیاه به شکلی در ریشه تجمع پیدا کرده و نتوانسته است به اندام های هوایی گیاهان همزیست انتقال یابد. این تجمع ممکن است به دلیل افزایش میزان فسفر ریشه در گیاهان همزیست باشد که موجب بلوکه شدن آهن در اندام زیرزمینی و ممانعت از انتقال آن به اندام هوایی شده است. ولی با توجه به آنکه افزایش فسفر خاک به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نتوانسته است اثر معنی دار بر غلظت آهن چه در اندام هوایی و چه در اندام زیرزمینی ایجاد کند، این دلیل اهمیت خود را از دست می دهد و احتمالاً نمی تواند دلیل اصلی تجمع آهن در ریشه گیاهان همزیست با میکوریزا باشد و قارچ میکوریزا آربسکولار باید از راه دیگری آهن را در ریشه گیاه بادام حفظ کرده و از انتقال آن به اندام هوایی جلوگیری کند. مثلاً ممکن است آهن در اندام های قارچی تجمع پیدا کرده و موجب افزایش غلظت آن در ریشه گردد.

غلظت منگنز نیز در اثر همزیستی میکوریزایی به طور معنی دار کاهش نشان می دهد ($P < 0/01$). این کاهش در اندام زیرزمینی گیاه میزان حدود ۱۵٪ و در اندام هوایی همان گیاه بیش از ۴۰٪ می باشد. افزایش فسفر خاک به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار باعث شده است که غلظت منگنز در ریشه گیاه حدوداً ۵۰٪ افزایش پیدا کند (جدول ۴) ولی در اندام هوایی حدود ۳۰٪ کاهش نشان داده است (جدول ۳). با توجه به مطلب فوق می توان چنین بیان کرد که افزایش غلظت فسفر در گیاه باعث می شود منگنز جذب شده توسط آن بلوکه شود و از حرکت به سمت بافت های جوان و اندام های انتهایی گیاه باز ماند. عکس این روند در گیاه سویا میکوریزایی مشاهده شده است. به طوری که غلظت منگنز در برگ ها افزایش و در ریشه کاهش نشان داده است (پاکوسکی، ۱۹۸۶). در حالی که تلقیح میکوریزایی ذرت موجب کاهش غلظت منگنز در اندام هوایی و ریشه گیاه شده است (کوتاری و همکاران، ۱۹۹۱).

نتایج حاضر نشان می دهند که حضور میکوریزا می تواند غلظت روی را در اندام هوایی گیاه بادام ۲۵ تا ۳۵ درصد و در اندام زیرزمینی آن ۲۶ تا ۳۷ درصد افزایش دهد (جدول ۳ و ۴). این افزایش ممکن است به دلیل تخلیه بیشتر خاک از روی بر اثر نفوذ ریشه های نازک

مانجون^۱ و هابت^۲، ۱۹۸۸). حضور قارچ های میکوریزا در گیاه ذرت موجب افزایش ۱۱۵٪ درصدی در جذب فسفر شده است (کوتاری و همکاران، ۱۹۹۱). سورگوم تلقیح شده با قارچ های میکوریزا نیز بدون توجه به درجه حرارت کشت داده شده در آن نسبت به شاهد فسفر بیشتری جذب کرده است (راجو و همکاران، ۱۹۹۰). جذب و برداشت فسفر در گیاه *Leucaena L.* میکوریزایی نیز نسبت به شاهد بیشتر است (مانجون^۱ و هابت^۲، ۱۹۸۸). تلقیح میکوریزایی گیاه شبدر سفید نشان داد که غلظت فسفر در اندام هوایی و زیرزمینی حدود دو برابر می گردد و در سطوح پایین فسفر ۷۶٪ و در سطوح بالای فسفر ۷۹٪ افزایش نشان می دهد (لی و همکاران (a)، ۱۹۹۱). تحقیقات نشان داده اند جذب فسفر توسط هر سه گروه قارچ های میکوریزای اکتو، اریکوئید و وزیکولار آربسکولار میکوریزا افزایش پیدا می کند و هیف های خارجی قارچ ها قادر به تحویل بیش از ۸۰٪ از فسفر مورد نیاز گیاه هستند (مارشتر و دل، ۱۹۹۴).

غلظت عنصر پتاسیم در ریشه و اندام هوایی گیاه بادام بر اثر همزیستی میکوریزایی کاهش نشان می دهد (جدول ۳ و ۴). از آنجا که پتاسیم نیز مانند نیتروژن یک عنصر متحرک در خاک و گیاه بوده و جذب آن نیاز به شبکه گسترده ریشه ای ندارد، طبیعی به نظر می رسد که روند مشابهی طی کند. ولی با توجه به غلظت پتاسیم در بین ژنوتیپ های مختلف بادام مشاهده می شود که روند تغییرات غلظت پتاسیم بین ژنوتیپ ها تقریباً عکس روند تغییرات غلظت فسفر در آنها می باشد. مطالعات گذشته نشان داده است هیف های خارجی قارچ های میکوریزا قادر به تأمین ۱۰٪ از نیاز گیاه همزیست خود به پتاسیم هستند (مارشتر و دل، ۱۹۹۴). ولی راجو و همکاران (۱۹۹۰) نشان دادند گونه های مختلف قارچ های میکوریزا در جذب پتاسیم گیاه همزیست با یکدیگر اختلاف دارند. به طوری که غلظت پتاسیم در گیاه سورگوم همزیست با گونه های *Glomus fasciculatum* و *Glomus macrocarpum* در سطح ۵٪ افزایش معنی دار دارد ولی با گونه *Glomus intraradices* افزایش نشان نداده است (راجو و همکاران، ۱۹۹۰).

مطالعات گذشته نشان داده است که همزیستی میکوریزایی اثرات متفاوتی در جذب عناصر کم نیاز توسط گیاه میزبان دارد. نوع گیاه میزبان و ویژگی های ژنتیکی و مورفولوژیکی آن باعث می شود که جذب هر عنصر کم نیاز در آن، با گیاه دیگر متفاوت باشد (کوسی و جانزن، ۱۹۸۷). مقایسه میانگین های غلظت عناصر کم نیاز مورد مطالعه در

¹ Manjunath

² Habte

میکوریزایی غلظت مس را در اندام هوایی افزایش داده ولی در اندام زیرزمینی اثر معنی‌دار نداشته است (کوتاری و همکاران، ۱۹۹۱).

نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد اگرچه افزایش فسفر خاک به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، میزان جذب کلیه عناصر مورد بررسی (Mn, Cu, Zn, Fe, K, P, N) را توسط اندام زیرزمینی (جدول ۶) و به جز آهن، مس و منگنز، میزان جذب سایر آنها را در اندام هوایی نیز افزایش می‌دهد (جدول ۵) ولی اثر همزیستی میکوریزایی به جز افزایش میزان برداشت فسفر و روی هم در اندام زیرزمینی و هم در اندام هوایی گیاه بادام بر میزان برداشت سایر عناصر در هیچ یک از دو بخش هوایی و ریشه گیاه معنی‌دار نشده است. این امر می‌تواند به دلیل افزایش رشد گیاهان بر اثر همزیستی میکوریزایی رخ دهد چراکه با افزایش وزن خشک گیاه میزان جذب عناصر غذایی توسط آن بیشتر می‌شود و خاک را به مقدار بیشتری از عناصر غذایی تخلیه می‌کند.

نتیجه‌گیری

به طور کلی، نتایج این مطالعه گلخانه‌ای نشان داد که اثرات مثبت همزیستی بادام با قارچ میکوریزا به گونه قارچ بستگی ندارد. همزیستی بادام با قارچ‌های میکوریزا غلظت عناصر غذایی فسفر و روی را افزایش و غلظت عناصر آهن و منگنز را در اندام هوایی گیاه کاهش داد. ولی این اختلاف‌ها در جذب عناصر تعدیل شده بود و کاهش جذب مشاهده نگردید. تلقیح میکوریزایی بر جذب عناصر مس و پتاسیم توسط گیاه بادام تأثیر معنی‌دار نداشت، و علی‌رغم افزایش جذب نیتروژن موجب کاهش غلظت آن در اندام هوایی گیاه گردید. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان توصیه کرد خزانه‌های تولید نهال بادام در کشور توسط مایه تلقیح‌های آریسکولار میکوریزا آلوده گردند و از اثرات مثبت این همزیستی در افزایش عملکرد و جذب عناصر غذایی خصوصاً فسفر و روی، و بهبود شرایط رشد گیاه استفاده شود.

قارچی در حفرات ریز خاک باشد. همزیستی میکوریزایی می‌تواند با افزایش طول ریشه‌ها و همچنین افزایش سطح جذب توسط ریشه‌های قارچی، جذب عناصر غیر متحرک از جمله روی را افزایش دهد (کوتاری و همکاران، ۱۹۹۱). ولی مکانیسم‌های افزایش روی لزوماً همان مکانیسم‌های جذب فسفر نیستند (کوتاری و همکاران، ۱۹۹۱). افزایش سطح جذب به کمک هیف‌های قارچی در گیاه ذرت میکوریزایی موجب افزایش ۲۲٪ درصدی غلظت روی می‌شود (کوتاری و همکاران، ۱۹۹۱). قارچ‌های میکوریزا وزیکولار آریسکولار قادرند بهتر از اکتو و اریکوئید میکوریزاها روی را از خاک جذب کنند (مارشور و دل، ۱۹۹۴). همزیستی گیاهان با قارچ‌های میکوریزا وزیکولار آریسکولار می‌تواند حدود ۲۵٪ از روی مورد نیاز گیاه میزان را تأمین کند (مارشور و دل، ۱۹۹۴). این روند در گیاهان بسیاری مانند ذرت (فابرا^۱ و همکاران، ۱۹۹۰)، سورگوم (راجو و همکاران، ۱۹۹۰)، گندم (الکارکی، ۲۰۰۰)، سویا (پاکووسکی، ۱۹۸۶)، باقلا (کوسی و جانزن، ۱۹۸۷) و *Leucaena L.* (مانجونا و هابت، ۱۹۸۸) مشاهده شده است.

اگرچه غلظت مس در گیاه بادام تحت تأثیر همزیستی میکوریزایی قرار نداشت. ولی افزایش فسفر خاک به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار موجب کاهش ۴۰ تا ۴۴ درصدی غلظت مس در اندام هوایی و زیرزمینی گیاه بادام گردید (جدول ۳ و ۴). با توجه به آنکه افزایش فسفر خاک موجب کاهش رشد طولی ریشه‌ها می‌گردد و مس نیز یک عنصر غیر متحرک در خاک و گیاه است، احتمالاً افزایش غلظت فسفر در گیاه بر اثر جذب راحت آن در خاک‌های کود داده شده موجب کاهش نسبی غلظت مس در گیاه می‌گردد و لذا با توجه به آنکه افزایش جذب فسفر در گیاهان میکوریزایی موجب بروز اختلاف معنی‌دار در غلظت مس نشده است می‌توان نتیجه گرفت که اگرچه حضور میکوریزا اثر معنی‌دار بر غلظت مس در گیاه همزیست ندارد ولی قادر است جذب مس را در مقایسه با گیاهانی که فسفر مورد نیاز خود را از راهی به جز همزیستی میکوریزایی تأمین می‌کنند، افزایش دهد. جذب مس در گیاهان مختلف میکوریزایی روند مشابهی نشان نمی‌دهد. به طوری که در بعضی گیاهان مانند *Leucaena L.* (مانجونا و هابت، ۱۹۸۸)، باقلا (کوسی و جانزن، ۱۹۸۷)، شبدر سفید (لی و همکاران (b)، ۱۹۹۱) و سویا (پاکووسکی، ۱۹۸۶)، حضور قارچ میکوریزا موجب افزایش جذب و برداشت مس شده است. ولی در گیاه ذرت همزیستی

¹ Faber

جدول ۱- برخی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک مورد آزمایش

CEC	K _{ava}	P _{ava}	ECe	pH	بافت	N _t	O.C	T.N.V	رس	سیلت	شن
Cmol+.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	ds.m ⁻¹					%			
۱۹/۲	۱۷۲	۴/۵	۰/۳۸	۷/۵	لوم شنی	۰/۰۵	۰/۱۸	۱۷	۱۰	۱۲	۷۸

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس غلظت نیتروژن (N)، فسفر (P)، پتاسیم (K)، آهن (Fe)، روی (Zn)، مس (Cu) و منگنز (Mn) در اندام هوایی گیاه بادام

میانگین مربعات							درجه آزادی	منبع تغییر
Mn	Cu	Zn	Fe	K	P	N		
۱۴/۱*	۰/۰۳۲	۰/۰۶۰*	۳۶۸۰	۰/۶۳۰**	۰/۰۰۵**	۰/۲۱**	۳	ژنوتیپ
۲۹/۹**	۰/۰۶۱*	۰/۰۵۸	۴۱۰۲	۱/۱۰۷**	۰/۰۸۰**	۰/۴۵**	۱	فسفر
۲۰/۸**	۰/۰۰۹	۰/۱۱۲**	۱۴۳۹۸**	۳/۸۸**	۰/۰۲۳**	۰/۴۱**	۲	میکوریزا
۱/۸۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۱۴۵۰	۰/۰۶۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۳	۲	بلوک
۹/۴۰	۰/۰۰۶	۰/۰۱۲	۵۳۰۲	۱/۵۶*	۰/۰۰۵**	۰/۲۳**	۳	ژنوتیپ × فسفر
۲/۵۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۹۹۲	۰/۱۴۵	۰/۰۰۰۵**	۰/۰۵	۲	فسفر × میکوریزا
۲/۰۹	۰/۰۱۵	۰/۰۰۸	۵۸۶	۰/۵۳۶	۰/۰۱۲*	۰/۰۲	۶	ژنوتیپ × میکوریزا
۵/۳۶	۰/۰۲۲	۰/۰۲۳	۱۴۶۲	۰/۱۵۱	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۶	ژنوتیپ × فسفر × میکوریزا

* معنی دار در سطح پنج درصد (P < ۰/۰۵) و ** معنی دار در سطح یک درصد (P < ۰/۰۱)

جدول ۳- مقایسه اثرات ساده ژنوتیپ، فسفر و میکوریزا بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر حسب درصد (%) و آهن (Fe)، روی (Zn)، مس (Cu) و منگنز (Mn) بر حسب میلی گرم در کیلوگرم (mg kg⁻¹) در اندام هوایی گیاه بادام (اعداد جدول میانگین ها را نشان می دهند)

Mn	Cu	Zn	Fe	K	P	N	سطوح تیمار	تیمار
۳/۷۲ b	۰/۱۲۲ b	۰/۴۱۹ b	۴۶/۹a	۱/۹۸ a	۰/۲۳۵ b	۱/۳۷b	مامایی	
۴/۶۱ ab	۰/۱۹۰ ab	۰/۴۰۸ b	۸۱/۳ a	۱/۷۵ b	۰/۲۲۴ b	۱/۳۰b	ربیع	ژنوتیپ
۵/۶۳ a	۰/۲۱۷ a	۰/۵۳۳ a	۶۵/۸ab	۱/۵۳ c	۰/۲۵۷ a	۱/۳۴b	تلخ	
۵/۴۹ a	۰/۲۰۳ a	۰/۴۷۹ ab	۶۹/۷ ab	۱/۸۲ b	۰/۲۵۵ a	۱/۵۵a	سفید	
۵/۵۱ a	۰/۲۱۲ a	۰/۴۸۸ a	۷۳/۵ a	۱/۶۵ b	۰/۲۰۹ b	۱/۳۱ b	۰-Kg	فسفر
۴/۲۲ b	۰/۱۵۴ b	۰/۴۳۱ a	۵۸/۴ a	۱/۸۹ a	۰/۲۷۶ a	۱/۴۷ a	۱۵۰-Kg	
۵/۹۳ a	۰/۱۹۷ a	۰/۳۸۵ b	۹۳/۱ a	۱/۹۲ a	۰/۲۰۸ b	۱/۵۲ a	شاهد	میکوریزا
۴/۲۳ b	۰/۱۶۱ a	۰/۴۷۵ a	۴۵/۶ b	۱/۷۲ b	۰/۲۵۱ a	۱/۳۹ b	GI	
۴/۴۲ b	۰/۱۹۱ a	۰/۵۱۹ a	۵۹/۰b	۱/۶۸ b	۰/۲۶۹ a	۱/۲۶ b	GM	

در هر ستون میانگین های با حروف مشابه در سطح پنج درصد (P < ۰/۰۵) اختلاف معنی دار ندارند

جدول ۴- مقایسه اثرات ساده ژنوتیپ، فسفر و میکوریزا بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر حسب درصد (%) و آهن (Fe)، روی (Zn)، مس (Cu) و منگنز (Mn) بر حسب میلی گرم در کیلوگرم (mg kg⁻¹) در ریشه گیاه بادام (اعداد جدول میانگین ها را نشان می دهند)

Mn	Cu	Zn	Fe	K	P	N	سطوح تیمار	تیمار
۸/۸۷a	۰/۲۹۵a	۰/۳۵۸b	۱۵۹ab	۰/۶۹۳ a	۰/۲۳۵ab	۱/۳۱a	مامایی	ژنوتیپ
۹/۵۶a	۰/۳۴۶a	۰/۳۰۹b	۲۳۱a	۰/۷۶۳ b	۰/۲۴۶ a	۱/۰۵b	ربیع	
۸/۱۹a	۰/۳۱۵a	۰/۲۳۷c	۱۱۴ab	۰/۸۱۴ b	۰/۲۳۲ b	۱/۱۳ b	تلخ	
۹/۵۳a	۰/۳۱۴a	۰/۴۱۶a	۹۱/۵b	۰/۸۷۳ b	۰/۲۲۸ b	۱/۳۰ a	سفید	فسفر
۷/۲۰b	۰/۳۵۰a	۰/۳۹۱a	۱۳۶a	۰/۷۴۸ b	۰/۲۰۹ b	۱/۲۳ a	۰-Kg	
۱۰/۹a	۰/۲۸۵b	۰/۲۷۰b	۱۶۱a	۰/۹۲۶ a	۰/۲۶۲ a	۱/۱۷ a	۱۵۰-Kg	
۱۰/۱a	۰/۳۲۳a	۰/۲۷۶b	۲۱۰a	۰/۹۲۰ a	۰/۱۹۵ b	۱/۲۹ a	شاهد	میکوریزا
۸/۴۲b	۰/۳۲۲a	۰/۳۴۱a	۱۱۶a	۰/۸۱۲ b	۰/۲۵۳ a	۱/۱۷ b	GI	
۸/۶۳ab	۰/۳۰۷a	۰/۳۷۴a	۱۲۰a	۰/۷۸۰ b	۰/۲۵۸ a	۱/۱۴ b	GM	

در هر ستون میانگین های با حروف مشابه در سطح پنج درصد (P < ۰/۰۵) اختلاف معنی دار ندارند

جدول ۵ - مقایسه اثرات ساده ژنوتیپ، فسفر و میکوریزا بر جذب (uptake) نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر حسب میلی‌گرم در گلدان (mg pot⁻¹) و آهن (Fe)، روی (Zn)، مس (Cu) و منگنز (Mn) بر حسب میکروگرم در گلدان (μg pot⁻¹) در اندام هوایی گیاه بادام (اعداد جدول میانگین‌ها را نشان می‌دهند)

تیمار	سطوح تیمار	N	P	K	Fe	Zn	Cu	Mn
ژنوتیپ	مامایی	۱۹۷ab	۳۶ a	۲۸۱a	۵۹۹b	۶/۱۷ a	۱/۶۲ b	۴۹/۸ b
	ربیع	۱۶۹b	۳۰ b	۳۲۱bc	۱۰۵۶ a	۵/۳۴ a	۲/۴۴ ab	۶۰/۴ab
	تلخ	۱۷۳b	۳۵a	۲۰۶c	۷۹۱ ab	۶/۹۱ a	۲/۷۹ a	۶۹/۶ a
	سفید	۲۲۸a	۳۷a	۲۶۹ab	۹۱۵ ab	۶/۷۵ a	۲/۶۹ a	۷۳/۷ a
فسفر	۰.Kg	۱۳۹b	۲۳ b	۱۷۸b	۹۱۴ a	۵/۲۸ b	۲/۲۵ a	۵۷/۹ a
	۱۵۰.Kg	۲۴۵a	۴۶ a	۳۱۶a	۷۶۷ a	۷/۳۱ a	۲/۵۲ a	۶۸/۸ a
میکوریزا	شاهد	۱۷۹a	۲۶ c	۲۲۶a	۱۰۴۴ a	۴/۴۶ b	۲/۲۳ a	۶۶/۸ a
	GI	۲۰۶a	۳۷ b	۲۵۵a	۶۲۵ b	۶/۷۹ a	۲/۲۲ a	۵۸/۷ a
	GM	۱۹۱a	۴۱ a	۲۶۰a	۸۵۲ ab	۷/۵۹ a	۲/۷۰ a	۶۴/۷ a

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه در سطح پنج درصد ($P < 0.05$) اختلاف معنی‌دار ندارند.

جدول ۶ - مقایسه اثرات ساده ژنوتیپ، فسفر و میکوریزا بر جذب (uptake) نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر حسب میلی‌گرم در گلدان (mg pot⁻¹) و آهن (Fe)، روی (Zn)، مس (Cu) و منگنز (Mn) بر حسب میکروگرم در گلدان (μg pot⁻¹) در ریشه گیاه بادام (اعداد جدول میانگین‌ها را نشان می‌دهند)

تیمار	سطوح تیمار	N	P	K	Fe	Zn	Cu	Mn
ژنوتیپ	مامایی	۱۴۵ ab	۶۳ a	۱۰۶۰ a	۱۶۲۶ab	۴/۰۳b	۳/۳۱a	۱۰۴a
	ربیع	۱۱۷ ab	۶۳ a	۸۹۷ a	۲۶۰۷a	۴/۱۶b	۴/۲۴a	۱۱۲a
	تلخ	۱۱۵b	۵۴ a	۸۳۸ a	۱۱۹۰b	۲/۵۶b	۳/۵۱a	۸۸/۳a
	سفید	۵۱۶ a	۶۳ a	۱۰۲۰ a	۱۱۸۳b	۶/۲۱a	۳/۸۹a	۱۲۵a
فسفر	۰.Kg	۹۷ b	۴۰ b	۵۷۹b	۹۶۸b	۲/۱۹b	۲/۳۳b	۵۶/۹b
	۱۵۰.Kg	۱۷۵ a	۸۳ a	۱۳۳۰ a	۲۳۳۶a	۶/۳۰a	۵/۱۵a	۱۵۸a
میکوریزا	شاهد	۱۱۸ a	۴۳ b	۸۶۶ a	۲۰۲۷a	۲/۷۵b	۳/۰۴a	۹۶/۰a
	GI	۱۴۵ a	۶۸ a	۹۹۳ a	۱۴۴۴a	۴/۷۰a	۴/۱۶a	۱۰۶a
	GM	۱۴۴ a	۷۳ a	۱۰۱۰ a	۱۴۸۴a	۵/۲۸a	۴/۰۲a	۱۲۱a

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه در سطح پنج درصد ($P < 0.05$) اختلاف معنی‌دار ندارند.

فهرست منابع:

- آقابابائی، ف. و ف. رئیس. ۱۳۸۸. بررسی امکان برقراری رابطه همزیستی اندومیکوریزایی در توده‌های بذری چند ژنوتیپ تجاری بادام. مجله علوم و فنون باغبانی ایران ۱۴۰-۱۲۷: ۱۰.
- امیرآبادی، م.، ف. رجالی، م.ر. اردکانی و م. برجی. ۱۳۸۷. تأثیر کاربرد مایه تلقیح ازتوباکتر و قارچ میکوریزی بر جذب برخی عناصر معدنی توسط ذرت علوفه‌ای (رقم سینگل کراس ۷۰۴) در سطوح مختلف فسفر. مجله پژوهش‌های خاک ۲۳: ۱۰۷-۱۱۵.
- درزی، م. ت.، ا. فلاوند و ف. رجالی. ۱۳۸۸. تأثیر مصرف کودهای بیولوژیک بر روی جذب عناصر N، P، K و عملکرد دانه در گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum Vulgare Mill.*). فصلنامه علمی - پژوهشی گیاهان دارویی و معطر ایران ۱۹-۲۵: ۱.
- Al-Karaki G.N. 2000. Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress. *Mycorrhiza*, 10:51-54.
- Azcon R., E. Ambrosano and C. Charestand. 2003. Nutrient acquisition in mycorrhizal

- lettuce plants under different phosphorus and nitrogen concentration. *Plant Science*, 165:1137–1145.
6. Bhoopander G., R. Kapoor and K.G. Mukerji. 2003. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and salinity on growth, biomass and mineral nutrition of *Acacia auriculiformis*. *Biology and Fertility of Soils*, 38:170–175.
 7. Bi Y.L., X.L. Li and A.P. Christie. 2003. Influence of early stages of arbuscular mycorrhiza on uptake of zinc and phosphorus by red clover from a low phosphorus soil amended with zinc and phosphorus. *Chemosphere*, 50:831–837.
 8. Bolan N.S. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil*, 134:189–207.
 9. Bockman O.C. 1997. Fertilizers and biological nitrogen fixation as sources of plant nutrients: Perspectives for future agriculture. *Plant and Soil*, 194: 11–14.
 10. Bremner J.M. and C.S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-Total, PP:591–622, In: A.L. Page ed, *Methods of soil analysis*, part 2, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
 11. Byrnes B.H. 1990. Environmental effects of N fertilizer use- An overview. *Fertilizer Research*, 26: 209–215.
 12. Calvet C., J. Pinochet , A. Hernandez-Dorrego ,V. Estan and A. Camprubi. 2001. Field microplot performance of the peach-almond hybrid GF-677 after inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi in a replant soil infested with root-knot nematodes. *Mycorrhiza*, 10:295–300.
 13. Caroline S.B. and R.J. Zasoski. 1983. Effects of ammonium and nitrate on growth and nitrogen uptake by mycorrhizal Douglas-fir seedlings. *Plant and Soil*, 71:445–454.
 14. Eissenstat D.M., J.H. Graham, J.P. Syvertsen and D.L. Drouillard. 1993. Carbon economy of sour orange in relation to mycorrhizal colonization and phosphorus status. *Annals of Botany*, 71:1–10.
 15. El-Bably A.Z. 2002. Effect of irrigation and nutrition of copper and molybdenum on egyptian clover (*Trifolium alexandrinum L.*). *American Society of Agronomy*, 94:1066–1070.
 16. Faber B.A., R.J. Zasoski, R.G. Burau and K. Uriu. 1990. Zinc uptake by corn as affected by vesicular-arbuscular mycorrhizae. *Plant and Soil*, 129:121–130.
 17. Hagin J. and A. Lowengart. 1996. Fertigation for minimizing environmental pollution by fertilizers. *Fertilizer Research*, 43: 5–7.
 18. Jeffries P., S. Gianinazzi and S. Perotto. 2003. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biology and Fertility of Soils*, 37:1–16.
 19. Kothari S.K., H. Marschner and V. Romheld. 1991. Contribution of the VA mycorrhizal hyphae in acquisition of phosphorus and zinc by maize grown in a calcareous soil. *Plant and Soil*, 131: 177–185.
 20. Kucey R.M.N. and H.H. Janzen. 1987. Effects of VAM and reduced nutrient availability on growth and phosphorus and micronutrient uptake of wheat and field beans under greenhouse conditions. *Plant and Soil*, 104: 71–78.
 21. Li X., E. George and H. Marschner. 1991. Extension of the phosphorus depletion zone in VA-mycorrhizal white clover in a calcareous soil, (a). *Plant and Soil*, 136: 41–48.
 22. Li X., H. Marschner and E. George. 1991. Acquisition of phosphorus and copper by VA-

- mycorrhizal hyphae and root-to-shoot transport in white clover, (b). *Plant and Soil*, 136: 49–57.
23. Li X.L. and P. Christie. 2001. Changes in soil solution Zn and pH and uptake of Zn by arbuscular mycorrhizal red clover in Zn-contaminated soil. *Chemosphere*, 42:201–207.
 24. Liu A., C. Hamel, R.I. Hamilton and B.L. Ma. 2000. Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (*Zea mays L.*) grown in soil at different P and micronutrient levels. *Mycorrhiza*, 9:331–336.
 25. Lopez-Gutiérrez J.C., M. Toro and D. Lopez-Hernandez. 2004. Arbuscular mycorrhiza and enzymatic activities in the rhizosphere of *Trachypogon plumosus Ness.* in three acid savanna soils, *Agriculture. Ecosystems and Environment*, 103:405–411.
 26. Manjunath A. and M. Habte. 1988. Development of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection and the uptake of immobile nutrients in *Leucaena leucocephala* 1. *Plant and Soil*, 106, 97–103.
 27. Marschner H. and B. Dell. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*, 159:89–102.
 28. Olsen S.R. and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus, PP:403–430, In: Page A.L. ed. *Methods of soil analysis, part 2, Chemical and Microbiological properties*, Soil Science Society of American Journal, Madison.
 29. Pacovsky R. S. 1986. Micronutrient uptake and distribution in mycorrhizal or phosphorus-fertilized soybeans. *Plant and Soil*, 95: 379–388.
 30. Raju P.S., R.B. Clark, J.R. Ellis and J.W. Maranville. 1990. Effects of species of VA-mycorrhizal fungi on growth and mineral uptake of sorghum at different temperatures. *Plant and Soil*, 121: 165–170.
 31. Roldan-Fagardo B.E., J.M. Barea, J.A. Ocampo and C. Azcon-Aguilar. 1982. The effect of season on VA mycorrhiza of the almond tree and of phosphate fertilization and species of endophyte on its mycorrhizal dependency. *Plant and Soil*, 68:361–367.
 32. Russo A., C. Felici, A. Toffanin, M. Gotz, C. Collados, J.M. Barea, Y. Moëne-Loccoz, K. Smalla, J. Vanderleyden and M. Nuti. 2005. Effect of *Azospirillum* inoculants on arbuscular mycorrhiza establishment in wheat and maize plants. *Biology and Fertility of Soils*, 41:301–309.
 33. Schubert A. and G. Lubraco. 2000. Mycorrhizal inoculation enhances growth and nutrient uptake of micropropagated apple rootstocks during weaning in commercial substrates of high nutrient availability. *Applied Soil Ecology*, 15:113–118.
 34. Smith S.E. and D.J. Read. 1997. *Mycorrhizal Symbiosis*, Academic Press. San Diego. CA.
 35. Shaviv A. and R.L. Mikkelsen. 1993. Controlled-release fertilizers to increase efficiency of nutrient use and minimize environmental degradation- A review. *Fertilizer Research*, 35: 1–12.
 36. Treseder K.K. 2004. A meta-analysis of mycorrhizal responses to nitrogen, phosphorus, and atmospheric CO₂ in field studies. *New Phytologist*, 164:347–355.
 37. Vessey J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255: 571–586.
 38. Waling I., W. Vanvark, V.J.G. Houba and J.J. Vanderlee. 1989. *Soil and plant analysis, a series of syllabi, part 7, plant analysis procedures*. Wageningen Agricultural University.
 39. [WWW.plantstress.com/BulletinBoard/Furom.asp/Hoagland solution](http://WWW.plantstress.com/BulletinBoard/Furom.asp/Hoagland%20solution)
 40. Zhu Y.G, P. Christie and A.S. Laidlaw. 2001. Uptake of Zn by arbuscular mycorrhizal white clover from Zn-contaminated soil. *Chemosphere*, 42:193–199.