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

فاطمه آقابابائی[1*]، 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 میکوریزائی با گیاه بادام و جذب عناصر غذائی توسط آن هنوز در کشور ایران مورد بررسی و مطالعه قرار نگرفته است. از این‌رو 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 intraradices و Glomus mosseae) 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 آربسکولار 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 درحالی است که جذب این عناصر توسط گیاه افزایش یافته و یا 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 غذائی 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 غذائی در ژنوتیپ‌های بادام دارند. به‌طور کلی، نتایج این مطالعه نشان داد که اثر قارچ میکوریزا بر تغذیه عناصر گوناگون در بادام متفاوت است و به نوع و توزیع عنصر غذائی بین اندام‌های هوائی و زیرزمینی گیاه بستگی دارد در حالی‌که گونه‌های قارچ در جذب عناصر غذایی به طور یکسان عمل کرده‌اند.

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

مقدمه

به دنبال رشد بی‌رویه جمعیت جهان در سال‌های اخیر تولید هرچه بیشتر محصولات کشاورزی اجتناب ناپذیر است. یکی از راهکارهای تولید بیشتر محصولات کشاورزی افزایش عملکرد در واحد سطح

---

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: شهرکرد، کیلومتر۲ جاده سامان، دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی، گروه خاک، صندوق پستی ۱۱۵

* دریافت: آبان ۱۳۸۸ و پذیرش: دی ۱۳۸۹

در میان‌مدت و بلندمدت از طریق مصرف نهاده‌ها از جمله انواع کودهای شیمیایی و زیستی است. از بین کودهای متفاوت، کودهای شیمیایی به دلیل مصرف راحت‌تر و اثر بخشی مناسب بیش از سایر کودها در گذشته مصرف شده‌اند، غافل از اینکه مصرف بیش از حد آنها آلودگی‌های زیست‌محیطی را به دنبال دارد (بیرنز[1]، ۱۹۹۰؛ هاجین[2] و لونگارت[3]، ۱۹۹۶) و این مسئله یکی از دغدغه‌های بشر امروزی است (هاجین و لونگارت،۱۹۹۶). برای حل این معضل ضروری به نظر می‌رسد راهکارهای مفیدی در زمینهٔ کاهش مصرف انواع کودهای شیمیایی و متعاقب آن آلودگی‌های زیست‌محیطی ارائه گردد (شاویو[4] و میکلسن[5]، ۱۹۹۳). اغلب پژوهشگران بر این باورند که با یک مدیریت خوب و صحیح، با استفاده از کودهای بیولوژیک و ریز جانداران می‌توان شرایط تغذیه‌ای بهتری را برای گیاه فراهم کرد (بوکمن[6]، ۱۹۹۷؛ ویسی[7]، 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 می‌توان به همزیستی دو جانبه گیاه-ریزجاندار اشاره نمود (جفریز[8] و همکاران، ۲۰۰۳). برخی از ریزجانداران خاک قادرند از طریق اشغال قسمتی از ریشه گیاهان با میزبان رابطه همزیستی برقرار نمایند (بولان[9]، ۱۹۹۱). در این میان همزیستی قارچ با گیاه شاید یکی از مهمترین پدیده‌های جالب و قابل توجه در اکوسیستم‌های طبیعی و کشاورزی به شمار آید (جفریز و همکاران، ۲۰۰۳). قارچ‌های میکوریزا قادر به برقراری همزیستی مسالمت‌آمیزی با ریشه اغلب گیاهان خشکی‌زی هستند. بر اثر این همزیستی دو طرف سود برده و به رشد و زندگی یکدیگر کمک می‌کنند (اسمیت[10] و رید[11]،۱۹۹۷). اغلب گیاهان شناسایی شده بر روی کره زمین قادر به برقراری همزیستی با این قارچ‌ها هستند که البته این همزیستی بر اساس ریشه گیاه میزبان و ویژگی‌های مورفولوژیک قارچ همزیست متفاوت است (اسمیت و رید،۱۹۹۷). مهمترین و بارزترین اثر مفید قارچ‌های میکوریزا، افزایش رشد گیاه میزبان است که 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 می‌شود (بولان،۱۹۹۱؛ لی[12] و همکاران b،۱۹۹۱). از این‌رو استفاده از این همزیستی در گیاهان استراتژیک و مهم، که سطح کشت وسیعی در ایران دارند، می‌تواند 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 تغذیه‌ای بالایی ندارد و قادر است با مقادیر کم عناصر غذایی به خوبی رشد کند، ولی در بیشتر بادامستان‌ها حتی این نیاز هم برآورده نمی‌شود (رولدن-فاگاردو[13] و همکاران،۱۹۸۲). از این‌رو جهت بهبود تغذیه درختان بادام گاهی استفاده از کودهای شیمیایی، آلی و یا بیولوژیک اجتناب ناپذیر است. به نظر می‌رسد چنانچه همزیستی بین این گیاه و قارچ‌های میکوریزا برقرار شود، بین سه کود یاد شده کودهای بیولوژیک مانند قارچ‌های میکوریزا که از نظر آلودگی، صرفه اقتصادی و عوارض زیست‌محیطی نسبت به دو گروه دیگر ارجحیت دارند، برای مصرف مناسب‌تر باشند. تاکنون تأثیر همزیستی میکوریزایی بر جذب عناصر غذایی در گیاهان زراعی مختلف مانند کاهو (آزکن[14] و همکاران، ۲۰۰۳)، بادام‌زمینی (بوپاندر[15] و همکاران، ۲۰۰۳)، شبدر قرمز(بی[16] و همکاران،۲۰۰۳؛ لی و کریستی[17]،۲۰۰۱)، سویا (لوپز-گوتیرز[18] و همکاران، ۲۰۰۴)، گندم (روسو[19] و همکاران، ۲۰۰۵) و یونجه (روسو و همکاران،۲۰۰۵) مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج اغلب بررسی‌ها نشان می‌دهد که جذب عناصر گوناگون از قبیل نیتروژن (درزی و همکاران، ۱۳۸۷؛ ترسدر[20]،۲۰۰۴)، فسفر (الکارکی[21]،۲۰۰۰؛ ترسدر، ۲۰۰۴)، پتاسیم (مارشنر[22] و دل[23]، ۱۹۹۴)، آهن (الکارکی،۲۰۰۰؛ لیو[24] و همکاران، ۲۰۰۰)، روی (کالوت[25]

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

و همکاران،۲۰۰۱؛ لی و کریستی، ۲۰۰۱)، مس (کالوت و همکاران، ۲۰۰۱؛ لیو و همکاران، ۲۰۰۰) و منگنز (امیرآبادی و همکاران، ۱۳۸۸؛ الکارکی، 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[1] و لوبراکو[2]، ۲۰۰۰) و مرکبات (ایسنستات[3] 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 (الکارکی،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[4] و زاسوسکی[5]،۱۹۸۳؛ مارشنرو دل، ۱۹۹۴؛ راجو[6] و همکاران،۱۹۹۰؛ ترسدر، ۲۰۰۴). البته برخی ویژگی‌های ذاتی گیاه مانند ترشح آنزیم‌های مختلف و پمپ H^+ به محیط خارجی نیز در جذب عناصر غذایی توسط ریشه گیاهان مؤثر است (کوتاری[7] و همکاران، ۱۹۹۱؛ پاکووسکی[8]، 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 پخش 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 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 $3/3-4/3\times 10^{-15}$ $mol.S^{-1}cm^{-1}$ 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 نماتدی افزایش می‌دهد. بنابراین، به نظر می رسد که نقش این قارچ ها 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[9] 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. البابلی[10] (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 رئیسی،۱۳۸۸)، این تحقیق با هدف بررسی جذب عناصر غذایی پرنیاز (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و همچنین چهار عنصر کم‌نیاز (آهن، روی، مس

1. Schubert
2. Lubraco
3. Eissenstat
4. Caroline
5. Zasoski
6. Raju
7. Kothari
8. Pacovsky
9. Zhu
10. El-Bably

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

مواد و روش‌ها

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 بلوک‌های کاملاً تصادفی استفاده شد. جهت تهیه گیاهچه‌های بادام ابتدا توده‌های بذری از چهار ژنوتیپ مامایی، ربیع، تلخ و سفید موجود در باغات منطقه سامان در استان چهارمحال و بختیاری جمع‌آوری شد. سپس به منظور تسریع جوانه‌زدن، بذور بادام ابتدا شکسته شدند و پوست سخت آنها بدون آنکه به دانه صدمه‌ای 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 به‌طور 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 سانتی‌گراد قرار داده شدند. طی این مدت روزانه کلیه ظروف توسط چند قطره آب مقطر استریل مرطوب می‌شدند و دوباره در یخچال قرار می‌گرفتند. پس از مدت فوق‌الذکر بذرها کم کم جوانه زده و ریشه‌چه از بذور بادام خارج گردید و گیاهچه‌ها جهت انتقال به محیط کشت اصلی آماده شدند.

سپس از آنجا که اثر گذاری قارچ‌های میکوریزا در خاک‌های فقیر از نظر عناصر غذایی با بافت شنی محسوس‌تر است و همچنین جداسازی ریشه‌ها از خاک پس از اتمام دوره آزمایش، از خاک‌های درشت بافت راحت‌تر 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 زریک جمع‌آوری شد. این خاک آهکی با بافت درشت بود و سایر ویژگی‌های آن با روش‌های متداول آزمایشگاهی تعیین گردید (جدول۱). نمونه خاک مورد استفاده پس از عبور از الک ۲ میلیمتری و انتقال به آزمایشگاه توسط دستگاه اتوکلاو، در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ۲۰ اتمسفر به مدت یک ساعت استریل شد.

پس از استریل کردن گلدان‌ها و انتقال خاک به آنها و اعمال تیمار فسفر در گلدان‌های دارای فسفر (به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار)، محیط کشت برای انتقال گیاهچه‌ها آماده شد. در هر گلدان سه گیاهچه در عمق ۵-۳ سانتی‌متری کاشته شد. در گلدان‌هایی که دارای تیمار قارچ میکوریز آربسکولار بودند، پس از ایجاد سوراخ برای قرارگیری گیاهچه حدود ۱۰ گرم مایه تلقیح قارچ از نوع خاک حاوی پروپاگول‌های قارچی، حاوی ۳۰۰ تا ۵۰۰ اسپور و حدود ۱۰۰ سانتی‌متر 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 گلدان‌ها، اعم از میکوریزایی و غیرمیکوریزایی توسط محلول غذایی هوگلند[1] ولی بدون فسفر، تغذیه و به هر گلدان ۲۰ میلی‌لیتر از محلول غذایی اضافه شد.

پس از گذشت ۴ ماه از دوره رشد نهال‌های بادام، برداشت انجام گرفت. اندام هوایی و زیرزمینی گیاهان جدا شد و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک گردید. سپس نمونه‌ها توسط آسیاب خرد و ریز شده و به قطعات کوچکتر از یک میلی‌متر تبدیل شدند. از این نمونه‌ها یک گرم جهت سوزاندن و بدست آوردن خاکستر در کروزه‌های چینی ریخته شد و در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و پس از سوختن به کمک ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ٪۱۵ عصاره‌گیری و به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. برای تعیین مقادیر عناصر به جز نیتروژن از این عصاره استفاده شد (والینگ[2] و همکاران،۱۹۸۹). مقدار فسفر در عصاره‌ها به روش رنگ‌سنجی و با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر(اولسن[3] و سامرز[4]، ۱۹۸۲) و پتاسیم نیز به کمک دستگاه فلیم‌فتومتر اندازه‌گیری و مقدار عناصر کم‌نیاز با استفاده از دستگاه جذب اتمی[5] تعیین گردید. مقدار ۰/۵ گرم ماده خشک نیز

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

جهت هضم درون لوله‌های دستگاه کجلدال ریخته شد تا میزان نیتروژن نمونه‌ها بدست آید (برمنر[1] و ملوانی[2]، ۱۹۸۲). میزان برداشت عناصر با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید:

$$Rootuptake = RootCe \times Rootd.wt.$$

$$Shootuptake = ShootCe \times Shootd.wt.$$

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 (جدول۳). 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 حالی‌که 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 معنی دار دارد. به نظر می‌رسد همزیستی میکوریزایی می‌تواند حدود ۲۵٪ از نیتروژن مورد نیاز گیاه میزبان را به آن تحویل دهد (مارشنر و دل، ۱۹۹۴). مارشنر و دل (۱۹۹۴) بیان کردند 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 وزیکولار آربسکولار 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؛ مارشنر 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 ($P< ۰/۰۱$) 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 (جدول۳ 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 ریسه‌های 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[3] و جانزن[4]، ۱۹۸۷؛

---

1. Bremner
2. Mulvaney
3. Kucey
4. Janzen

مانجونا[1] و هابت[2]، ۱۹۸۸). حضور قارچ‌های میکوریزا در گیاه ذرت موجب افزایش ٪۱۱۵ درصدی در جذب فسفر شده است (کوتاری و همکاران،۱۹۹۱). سورگوم تلقیح شده با قارچ‌های 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 (مانجونا و هابت،۱۹۸۸). تلقیح میکوریزایی گیاه شبدر سفید نشان داد که غلظت فسفر در اندام هوایی و زیرزمینی حدود دو برابر می‌گردد و در سطوح پایین فسفر ٪۷۶ و در سطوح بالای فسفر ٪۷۹ افزایش نشان می‌دهد (لی و همکاران (a)، ۱۹۹۱). تحقیقات نشان داده‌اند جذب فسفر توسط هر سه گروه قارچ‌های میکوریزای اکتو، اریکوئید و وزیکولار آربسکولار میکوریزا افزایش پیدا می‌کند و هیف‌های خارجی قارچ‌ها قادر به تحویل بیش از ٪۸۰ از فسفر مورد نیاز گیاه هستند (مارشنر و دل، ۱۹۹۴).

غلظت عنصر پتاسیم در ریشه و اندام هوایی گیاه بادام بر اثر همزیستی میکوریزایی کاهش نشان می‌دهد (جدول۳ و ۴). از آنجا که پتاسیم نیز مانند نیتروژن یک عنصر متحرک در خاک و گیاه بوده و جذب آن نیاز به شبکه گسترده ریشه‌ای ندارد، طبیعی به نظر می‌رسد که روند مشابهی طی کند. ولی با توجه به غلظت پتاسیم در بین ژنوتیپ‌های مختلف بادام مشاهده می‌شود که روند تغییرات غلظت پتاسیم بین ژنوتیپ‌ها تقریباً عکس روند تغییرات غلظت فسفر در آنها می‌باشد. مطالعات گذشته نشان داده است هیف‌های خارجی قارچ‌های میکوریزا قادر به تأمین ٪۱۰ از نیاز گیاه همزیست خود به پتاسیم هستند (مارشنر و دل،۱۹۹۴). ولی راجو و همکاران (۱۹۹۰) نشان دادند گونه‌های مختلف قارچ‌های میکوریزا در جذب پتاسیم گیاه همزیست با یکدیگر اختلاف دارند. به‌طوری‌که غلظت پتاسیم در گیاه سورگوم همزیست با گونه‌های 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 کم‌نیاز توسط گیاه میزبان دارد. نوع گیاه میزبان و ویژگی‌های ژنتیکی و مورفولوژیکی آن باعث می‌شود که جذب هر عنصر کم‌نیاز در آن، با گیاه دیگر متفاوت باشد (کوسی و جانزن، ۱۹۸۷). مقایسه میانگین‌های غلظت عناصر کم‌نیاز مورد مطالعه در این تحقیق نشان می‌دهد که میکوریزا غلظت آهن را در اندام هوایی گیاه بادام ٪۸۰ کاهش داده است (جدول۳). در حالی‌که اختلاف معنی‌دار در غلظت آهن در ریشه گیاه بادام مشاهده نمی‌شود (جدول۴). 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 اندام‌های 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 معنی‌دار بر غلظت آهن چه در اندام هوایی و چه در اندام زیرزمینی ایجاد کند، این دلیل اهمیت خود را از دست می‌دهد و احتمالاً نمی‌تواند دلیل اصلی تجمع آهن در ریشه گیاهان همزیست با میکوریزا باشد و قارچ میکوریز 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 اندام‌های قارچی تجمع پیدا کرده و موجب افزایش غلظت آن در ریشه گردد.

غلظت منگنز نیز در اثر همزیستی میکوریزایی به‌طور معنی‌دار کاهش نشان می‌دهد ($P< ۰/۰۱$). این کاهش در اندام زیرزمینی گیاه میزبان حدود ٪۱۵ و در اندام هوایی همان گیاه بیش از ٪۴۰ می‌باشد. افزایش فسفر خاک به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار باعث شده است که غلظت منگنز در ریشه گیاه حدوداً ٪۵۰ افزایش پیدا کند (جدول۴) ولی در اندام هوایی حدود ٪۳۰ کاهش نشان داده است (جدول۳). با توجه به مطلب فوق می‌توان چنین بیان کرد که افزایش غلظت فسفر در گیاه باعث می‌شود منگنز جذب شده توسط آن بلوکه شود و از حرکت به سمت بافت‌های جوان و اندام‌های انتهایی گیاه باز ماند. عکس این روند در گیاه سویا میکوریزایی مشاهده شده است. به‌طوری‌که غلظت منگنز در برگ‌ها افزایش و در ریشه کاهش نشان داده است (پاکووسکی، ۱۹۸۶). در حالی‌که تلقیح میکوریزایی ذرت موجب کاهش غلظت منگنز در اندام هوایی و ریشه گیاه شده است (کوتاری و همکاران، ۱۹۹۱).

نتایج حاضر نشان می‌دهند که حضور میکوریزا می‌تواند 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 ریسه‌های نازک

---

1. Manjunath
2. Habte

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 آربسکولار قادرند بهتر از اکتو و اریکوئید میکوریزاها روی را از خاک جذب کنند (مارشنر و دل، ۱۹۹۴). همزیستی گیاهان با قارچ‌های میکوریزا وزیکولار آربسکولار می‌تواند حدود ٪۲۵ از روی مورد نیاز گیاه میزبان را تأمین کند (مارشنر و دل،۱۹۹۴). این روند در گیاهان بسیاری مانند ذرت (فابر[1] 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 (جدول۳ 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. به‌طوری‌که 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 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 (جدول۶) 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 آربسکولار 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.

---

1. Faber

جدول ۱- برخی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک مورد آزمایش

شن	سیلت	رس	T.N.V	O.C	N_t	بافت	pH	ECe	P_{ava}	K_{ava}	CEC
			٪					$ds.m^{-1}$	$mg.kg^{-1}$		$Cmol+.kg^{-1}$
۷۸	۱۲	۱۰	۱۷	۰/۱۸	۰/۰۵	لوم شنی	۷/۵	۰/۳۸	۴/۵	۱۷۲	۱۹/۲

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

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

* معنی‌دار در سطح پنج درصد ($P<$ ۰/۰۵) و ** معنی‌دار 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 میلی‌گرم در کیلوگرم($mg\ kg^{-1}$) در اندام هوایی گیاه بادام (اعداد جدول میانگین‌ها را نشان می‌دهند)

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

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه در سطح پنج درصد ($P<$ ۰/۰۵) اختلاف معنی‌دار 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 میلی‌گرم در کیلوگرم($mg\ kg^{-1}$) در ریشه گیاه بادام (اعداد جدول میانگین‌ها را نشان می‌دهند)

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

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه در سطح پنج درصد ($P<$ ۰/۰۵) اختلاف معنی‌دار 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 ($\mu g\ pot^{-1}$) 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
فسفر	سفید	۲۲۸a	۳۷a	۲۶۹ab	۹۱۵ ab	۶/۷۵ a	۲/۶۹ a	۷۳/۷ a
	۰Kg	۱۳۹b	۲۳ b	۱۷۸b	۹۱۴ a	۵/۲۸ b	۲/۲۵ a	۵۷/۹ a
	۱۵۰Kg	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 ($P< ۰/۰۵$) 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 ($\mu g\ pot^{-1}$) 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
فسفر	سفید	۵۱۶ a	۶۳ a	۱۰۲۰ a	۱۱۸۳b	۶/۲۱a	۳/۸۹a	۱۲۵a
	۰Kg	۹۷ b	۴۰ b	۵۷۹b	۹۶۸b	۲/۱۹b	۲/۳۳b	۵۶/۹b
	۱۵۰Kg	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 ($P< ۰/۰۵$) اختلاف معنی‌دار ندارند.

فهرست منابع:

۱. آقابابائی، ف. و ف. رئیسی. ۱۳۸۸. بررسی امکان برقراری رابطه همزیستی اندومیکوریزایی در توده های بذری چند ژنوتیپ تجاری بادام. مجله علوم و فنون باغبانی ایران ۱۴۰-۱۲۷ : ۱۰.

۲. 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) درسطوح مختلف فسفر. مجله پژوهش‌های خاک ۱۱۵-۱۰۷:۲۳.

۳. 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.

4. Al-Karaki G.N. 2000. Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress. Mycorrhiza, 10:51–54.

5. 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 mycorrhizai 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 alexandrnium 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 mycorrhizai 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. Moënne-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
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.