دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

بررسی اثر بر هم کنش سیلیکون و همزیستی میکوریزائی بر برخی از پارامترهای بیوشیمیائی و فیزیولوژیکی گیاه سویا (*Glycine max* L.)

کوروش دلاور[1]*، فرنگیس رضایی[1]

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۸/۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۱۵

چکیده

در این پژوهش اثر تیمارهای سیلیکونی، همزیستی میکوریزائی و بر هم کنش آن‌ها بر برخی پارامترهای بیوشیمیائی و فیزیولوژیکی گیاه سویا مورد بررسی قرار گرفت. برای این کار گیاه سویا (*Glycine max* L.) با قارچ میکوریز *Glomus mosseae* تلقیح شده و سپس تیمارهای ۰، ۰/۲، ۲ و ۴ میلی مولار سیلیکون تغذیه شدند. بعد از دو ماه اندازه‌گیری‌های لازم در گیاهان انجام شد. نتایج به دست آمده نشان داد اگرچه تیمارهای میکوریزی و سیلیکونی باعث افزایش رشد گیاه سویا شدند اما بر هم کنش آن ها فاقد چنین اثری بود. محتوی قند و پروتئین گیاه خصوصا اندام های هوائی در تیمارهای میکوریزائی و سیلیکونی عموما افزایش نشان داد اما بر هم کنش میکوریز و سیلیکون فقط باعث افزایش محتوی قند گیاه شد. همچنین محتوی فسفر گیاه به شدت تحت تاثیر میکوریز افزایش یافت. سیلیکون در بر هم کنش با میکوریز نیز مقدار فسفر ریشه ها را افزایش داد. محتوای پیش سازهای کلروفیلی شامل پروتوکلروفیلد و کلروفیلدهای a و b همگی تحت تاثیر تیمارهای میکوریزی و نیز بر هم کنش سیلیکون و میکوریز افزایش معنی داری نشان دادند. تیمارهای سیلیکونی و میکوریزائی به تنهایی تاثیر چندانی بر محتوی کلروفیل های a و b و کاروتنوئید های گیاه نگذاشتند اما به کار بردن هم زمان آن ها باعث افزایش محتوی کلروفیل a و کاروتنوئید ها شد ولی روی میزان کلروفیل b تاثیری نگذاشت. به طور کلی اعمال همزمان تیمارهای میکوریزائی و سیلیکونی بر روی پارامترهای رشدی و فیزیولوژیکی گیاه اثر کمی داشت اما باعث افزایش معنی دار محتوی رنگدانه ای گیاه گردید.

کلمات کلیدی: سیلیکون، همزیستی میکوریزائی، سویا

دلاور،ک، رضایی، ف. بررسی اثر بر هم کنش سیلیکون و همزیستی میکوریزائی بر برخی از پارامترهای بیوشیمیائی و فیزیولوژیکی گیاه سویا (*Glycine max* L.). (۱۵)۵۳ : ۱۰۹-۹۷

۱-گروه زیست شناسی، واحد آشتیان، دانشگاه آزاد اسلامی، آشتیان، ایران.مسئول مکاتبات:delavar_k@yahoo.com

مقدمه

سیلیکون(Si) که بعد از اکسیژن فراوان ترین عنصر در پوسته زمین است، یک عنصر شبه ضروری برای گیاهان به شمار می رود (اپستین ۱۹۹۴) اما چون عموما به فرم نامحلول وجود دارد کمتر توسط گیاهان جذب می گردد (سوری و همکاران، ۲۰۲۱). این عنصر نقش مهمی در تعدیل انواع تنش های زیستی و غیر زیستی در گیاهان دارد و در عین حال باعث بهبود عملکرد بسیاری از گیاهان می شود (ما و تاکاهاشی، ۲۰۰۲). سیلیکون توسط گیاهان به فرم اسید سیلیسیلیک جذب می‌شود و سرانجام بخش زیادی از آن به شکل ژل سیلیکا در دیواره سلولی ته نشین می‌شود (اسنایدر و همکاران ۲۰۰۶). میزان انباشتگی سیلیکون بسته به گونه گیاهی متفاوت است، به طوری که گیاهان بر مبنای میزان سیلیکون به سه گروه تقسیم می‌شوند: ۱-گیاهانی با تجمع بالای سیلیکون (بیشتر از ۴٪) مانند خانواده‌های گندم، جگن و دم اسب، ۲-گیاهانی با تجمع حد واسط (بین ۴-۲ درصد) مانند راسته گزنه و خانواده کدو و کاملیا، ۳-گیاهانی با میزان کم سیلیکون که شامل سایر گونه‌ها می‌باشد(ما و تاکاهاشی، ۲۰۰۲). گیاه سویا (*Glycine max* L.) از مهم‌ترین دانه‌های روغنی در جهان و ایران است (خواجه پور، ۲۰۰۶). دانهٔ خشک سویا به طور معمول دارای ۱۸ تا ۲۵ درصد روغن و ۳۰ تا ۵۰ درصد پروتئین است و اهمیت ویژه‌ای در تغذیهٔ انسان، دام و طیور دارد، به طوری که از نظر تولید روغن خوراکی در جهان دارای رتبهٔ اول است (فاس، ۲۰۰۵). از مهم‌ترین محدودیت‌های تولید گیاهان زراعی از جمله سویا در ایران خشکی و کمبود رطوبت است (ملکی و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین دستیابی به راهبردهایی برای کاهش اثر منفی تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه از اهمیت ویژه ای برخوردار است.از سوی دیگر قارچ های میکوریزائی در شرایط طبیعی پراکنش گسترده ای داشته و از ضایعات معادن گرفته تا خاک های کشاورزی حضور دارند (بولان، ۱۹۹۱). آنها با افزایش جذب عناصر غذایی نقش مهمی را فیزیولوژی گیاهان ایفا می کنند و با تغییر متابولیسم گیاه سبب تعدیل واکنش آن ها به تنش های محیطی شده و مقاومت آن ها را نیز در برابر عوامل بیماری زا بالا می برند (گارسیار-رودریگز و همکاران، ۲۰۰۵؛ هاوس و همکاران، ۲۰۰۷). قدمت قارچ‌های میکوریزا در اکوسیستم خشکی به بیش از ۴۴۰ میلیون سال می‌رسد (اسمیت و رد، ۲۰۰۸). اهمیت میکوریزا در کشاورزی بر پایه نقش ویژه آن به عنوان حلقهٔ ارتباطی بین خاک و گیاه استوار است. قارچ میکوریزا به دلیل افزایش مؤثر سطح جذب ریشه از طریق ایجاد هیف، سبب افزایش جذب آب و مواد غذایی به وسیلهٔ گیاهان می‌شوند (مارشنر، ۱۹۹۴). در همین راستا خان در ۲۰۰۲ گزارش داد که تلقیح سویا با قارچ میکوریزی آربوسکولار موجب افزایش طول ریشه و ساقه، وزن خشک ریشه و ساقه، قطر ساقه و وزن هزار دانه می‌شود. در آزمایشی بر روی سویا، کاربرد همزمان برادی ریزوبیوم و میکوریزا سبب افزایش وزن خشک برگ در وضعیت تنش رطوبتی شد (تاجیک-کاوه، ۲۰۱۱).بنابراین با توجه با تاثیرات مثبت قارچ های میکوریز و سیلیکون بر رشد و نمو گیاه سویا، در این پژوهش بر آن شدیم تا ضمن بررسی اثر جداگانه تیمارهای مایکوریزائی و سیلیکونی بر این گیاه، تاثیر کاربرد همزمان آن ها را بر روی پارامترهای رشدی گیاه سویا مورد بررسی و کنکاش قرار دهیم.

مواد و روش ها

در این پژوهش از گیاه سویا (*Glycine max* L.)، رقم Willliams استفاده شد. بذرها در ظروف پتری با آب مقطر شستشو داده و استریل شده و به مدت چهار هفته به منظور جوانه‌زنی در شرایط مذکور رشد کردند. برای تلقیح گیاه با میکوریز از خاک بیولوژیک حاوی اسپور گونه‌های میکوریزی *Glomus mosseae* تهیه شده از کلینیک گیاه پزشکی ارگانیک همدان استفاده شد. این خاک بیولوژیک حاوی ۱۵ اسپور در هر گرم و ۹۳۰ پروپاگول در هر سانتیمتر مکعب بود. خاک با آب مقطر استریل مرطوب گردید.

گیاهان در گلدان‌های حاوی پرلیت کشت شدند. جهت تلقیح گیاه با میکوریز در هر گلدان بر روی سطح پرلیت ۵۰ گرم خاک حاوی اسپور میکوریز در عمق ۵ سانتی‌متر ریخته شده و گیاهچه‌های جوانه‌زده چهار هفته ای بر روی آن کشت شدند تا ریشه‌های بذر در

تماس با اسپور قارچ‌ها قرار گیرند. سپس روی سطح گیاهک‌ها با مقداری پرلیت پوشانده شد. برای هر تیمار ۴ گلدان به عنوان ۴ تکرار در نظر گرفته شده و در هر گلدان نیز ۴ گیاهچه کاشته شد. گیاهان در گلخانه با شرایط نوری ۱۰/۱۴ ساعت روشنایی/تاریکی و دمای کمینه و بیشینه ۲±۱۷ و ۲±۲۴ درجه سانتی گراد و رطوبت حدود ۶۰-۷۰ درصد قرار گرفتند. برای آبیاری گلدان‌ها از آب مقطر و محلول غذایی Long Ashton به میزان مورد نیاز استفاده شد (هیویت، ۱۹۶۶). بعد از چهار هفته رشد در گلدان، چهار تیمار سیلیکون -متاسیلیکات سدیم -($Na_2SiO_3.5H_2O$) با غلظت‌های ۰ و ۰/۲ و ۲ و ۴ میلی‌مولار تهیه و هر ۴ روز یکبار همراه محلول غذایی کامل لانگ اشتاین به گیاهان داده می شد. از مجموع ۳۲ گلدان، ۱۶ گلدان حاوی میکوریز به چهار گروه چهارتائی تقسیم شده و هر گروه تحت یکی از تیمارهای ۰، ۰/۲، ۲ و ۴ میلی مولار سیلیکون قرار گرفتند. ۱۶ گلدان فاقد میکوریز نیز به همین ترتیب تحت تیمار سیلیکونی قرار داده شدند. بعد از هشت هفته تیماردهی، گیاهان جمع آوری شده و وزن تر ریشه ها و اندام های هوائی اندازه گیری شد. ۴ گیاه هر گلدان به عنوان یک تیمار در نظر گرفته شدند. گیاهان دو گلدان‌ها از چهار گلدان هر تیمار به طور تصادفی انتخاب و خشک شدند و گیاهان دوگلدان دیگر فریز شدند. ریشه‌های تیمارهای میکوریزی بعد از اندازه‌گیری وزن تر در محلول ۱۰ میلی لیتر فرمالین، ۱۰ میلی لیتراسید استیک و ۱۴۰ میلی لیتر اتانول ۹۶٪ به عنوان فیکساتور شدن نگهداری شده و مابقی خشک شدند. برای تهیه عصاره گیاهی ۰/۰۲ گرم از بافت تر یا خشک برگ و ریشه توزین و با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر در هاون چینی سائیده شد. سپس محتوای هاون به بشر کوچکی منتقل گردید و روی اجاق گاز برقی گرم شده و به کمک کاغذ صافی واتمن شماره ۱ صاف گردید و عصاره گیاهی به دست آمد. میزان قندهای احیاء کننده در برگ‌ها و ریشه‌ها با استفاده از روش سوموجی-نیلسون (۱۹۵۲) اندازه‌گیری شد. در این روش از سولفات مس به عنوان عامل احیا شونده و غلظت های مختلف گلوکز به عنوان استاندارد استفاده گردید و در نهایت میزان جذب نور توسط محلول های واکنش در ۶۰۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد. برای اندازه‌گیری پروتئین کل از روش برادفورد استفاده گردید. روش مذکور بر اساس اتصال ماده رنگی کوماسی بریلیانت بلو G250 به اسید آمینه‌های آرژنین، تریپتوفان، تیروزین، هیستیدین و فنیل آلانین در مولکول‌های پروتئین استوار است. این اتصال تولید یک ماده رنگی می‌کند که حداکثر جذب نوری آن در ۵۹۵ نانومتر می‌باشد (برادفورد، ۱۹۷۶). برای اندازه‌گیری مقدار آسکوربیک اسید ۰/۵ گرم بافت تازه در ۱۰ میلی‌لیتر اسید متافسفریک ۵ درصد سائیده و به مدت ۱۵ دقیقه در g ۱۰۰۰۰ سانتریفوژ گردید. سپس ۳۰۰ میکرولیتر از عصاره سانتریفوژ شده در لوله آزمایش ریخته شد و محلول‌های مورد نیاز مطابق روش دپینتو (۱۹۹۹) به آن اضافه گردید و در نهایت میزان جذب نمونه ها در ۵۲۵ نانومتر خوانده شد. برای رسم منحنی استاندارد نیز ازغلظت های مختلف آسکوربیک اسید خالص استفاده گردید.اندازه‌گیری فسفر در نمونه‌های گیاهی به روش چاپمن و پرات (۱۹۶۱) انجام شد. در این روش خاکستر نمونه ها بعد از حل شدن در اسید کلریدریک با آب دیونیزه به حجم رسانده شد. عصاره حاصل با معرف بارتن مخلوط شده و بعد از گذشت ۳۰ دقیقه میزان جذب آن ها در طول موج ۴۷۰ نانومتر خوانده شد و با استفاده از منحنی استاندارد غلظت فسفر به دست آمد.

برای سنجش میزان کلروفیل و کاروتنوئید از روش پورا و همکاران (۱۹۸۹) و برای سنجش پیش سازهای کلروفیل از روش یانگ و همکاران (۱۹۹۸) استفاده شد. بر اساس این روش‌ها ۰/۲۵ گرم بافت برگ ساییده شده توسط ازت مایع با ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد مخلوط و به خوبی همگن شدند. سپس نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه با دور ۱۵۰۰ گرم سانتریوفوژ گردیدند. پس از این مرحله، فاز بالایی را برداشته و شدت جذب آن در طول موج‌های، ۴۴۰/۵، ۶۴۶/۶ و ۶۶۳/۶ نانومتر که بالاترین جذب کاروتنوئید و کلروفیل های a وb می‌باشد و طول موج‌های ۵۷۵، ۵۹۰، ۶۲۸، ۶۶۷ و ۶۵۰ نانومترکه بالاترین جذب پروتوکلروفیلد و کلروفیلد های a و b می‌باشد با استفاده از اسپکتروفتومتر خوانده شد. غلظت رنگیزه‌های مورد نظر با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه گردید.

$$\text{Chl a } (\mu g/ml) = 12.25\ A_{663.6} - 2.55\ A_{646.6}$$
$$\text{Chl b } (\mu g/ml) = 20.31\ A_{646.6} - 4.91\ A_{663.6}$$
$$\text{Car } (\mu g/ml) = 4.69\ A_{440.5} - 0.267$$

PChlide (µg/ml)= 42. 59 A_{628} - 34. 22 A_{575} – 7. 25 A_{590}
Chlide a (µg/ml)= A_{667} / 74. 9
Chlide b (µg/ml)= A_{650} / 47. 2

در روابط فوق Chl a، Chl b، Car، Pchlide، Chlide a، Chlide b به ترتیب کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، پروتوکلروفیلد، کلروفیلد a و کلروفیلد b می‌باشند. برای تشخیص وجود میکوریزهای آربوسکولار نمونه ها با کمک روش راجاپاکز و میلر(۱۹۹۲) رنگ آمیزی و مطالعه شدند. برای انجام رنگ آمیزی، ریشه ها شسته شده و در محلول آبی ۱۰ درصد KOH در حمام آب گرم ۹۰ درجه به مدت زمان لازم قرار داده شدند. سپس ریشه ها مجددا شسته شده و ابتدا در HCl ۰,۱ نرمال قرار و بعد در رنگ فوشین ۰,۱ درصد در حمام آب گرم قرار گرفتند. پس از رنگ آمیزی، نمونه ها شسته شده و به مدت ۱۲ ساعت در محلول رنگ زدا (اسید لاکتیک: گلیسرول: آب، به نسبت ۱۴:۱:۱) جهت رنگ زدائی قرار گرفتند. در نهایت نمونه‌های آماده شده بر روی لام میکروسکوپ قرار داده شده برای اطمینان از برقراری ارتباط میکوریزایی ریشه‌ها مورد مطالعه قرار گرفته و عکس برداری شدند (شکل ۱).

محاسبات آماری بر اساس طرح فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با ۴ تکرار انجام شد. آنالیز داده ها با کمک نرم افزار SPSS و رسم نمودارها نیز با کمک نرم افزار EXCEL صورت گرفت. مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون دانکن و test-T در سطح احتمال ۵ ٪ انجام گرفت.

الف ب ج

شکل ۱-تصاویر میکوریز ها در تیمارهای میکوریزائی (الف)، بر هم کنش میکوریز و سیلیکون ۲ میلی مولار (ب) و بر هم کنش میکوریز و سیلیکون ٤ میلی‌مولار در ریشه گیاه سویا (ج)

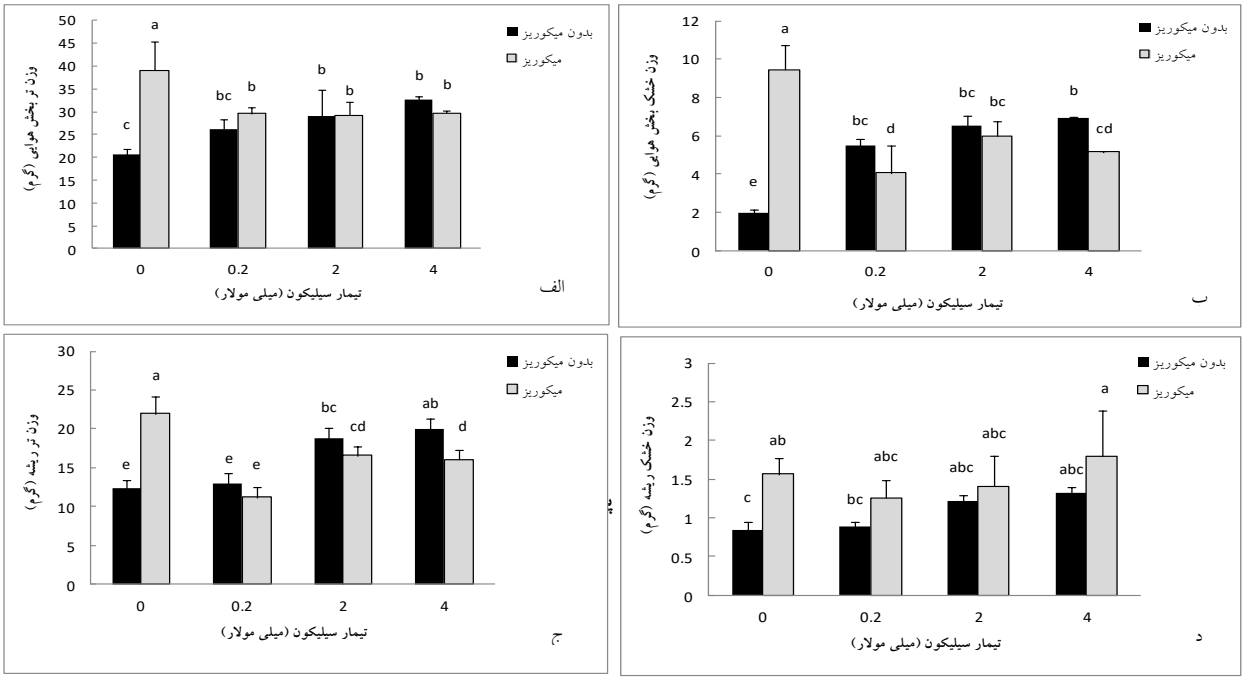
نتایج و بحث

نتایج به دست آمده نشان داد که تیمار میکوریزی باعث افزایش قابل توجهی در وزن تر و خشک اندام های هوائی و ریشه گیاه سویا گردید. همچنین تیمارهای سیلیکونی نیز وزن تر و خشک گیاه را به طور مشخصی افزایش دادند. اما تیمارهای سیلیکونی در حضور میکوریز ها نه تنها تاثیری در افزایش رشد گیاه نداشته بلکه در بیشتر موارد سبب کاهش رشد آن نیز گردیدند (شکل ۲). بنابراین نتایج حاصل از این پژوهش به روشنی اثر مثبت ارتباط همزیستی میکوریزائی و نیز تغذیه سیلیکونی را بر افزایش رشد گیاه سویا به صورت افزایش وزن تر اندام های هوائی و ریشه ها نشان داد. افزایش وزن خشک بخش هوایی توسط قارچ میکوریز آربوسکولار در گیاهان دیگری مانند موسیر چینی (پرنر، ۲۰۱۱)، پیاز خوراکی (ماهاویر و آلوک، ۲۰۰۰) و فلفل (سن سوی و همکاران، ۲۰۰۷) نیز گزارش شده است. گائور و همکاران (۲۰۰۰) نشان دادند که سبزی‌های گشنیز، شنبلیله و هویج تلقیح شده با قارچ‌های میکوریز وزیکول-آربوسکولار در خاک‌های شنی دارای کمبود مواد غذایی، وزن خشک شاخسار بیشتری داشته و وجود شبکه گسترده هیف‌های قارچ، افزایش جذب آب و عناصر غذایی را برای گیاه مهیا می‌کند. همچنین مطالعات نشان دادند که قارچ‌های میکوریزی سبب افزایش گره، کلونی‌زایی ریشه، تجمع ماده خشک در اندام هوایی و جذب عناصر در گیاه نخود *Cicer arietinum* L. می‌شوند (سینگ و

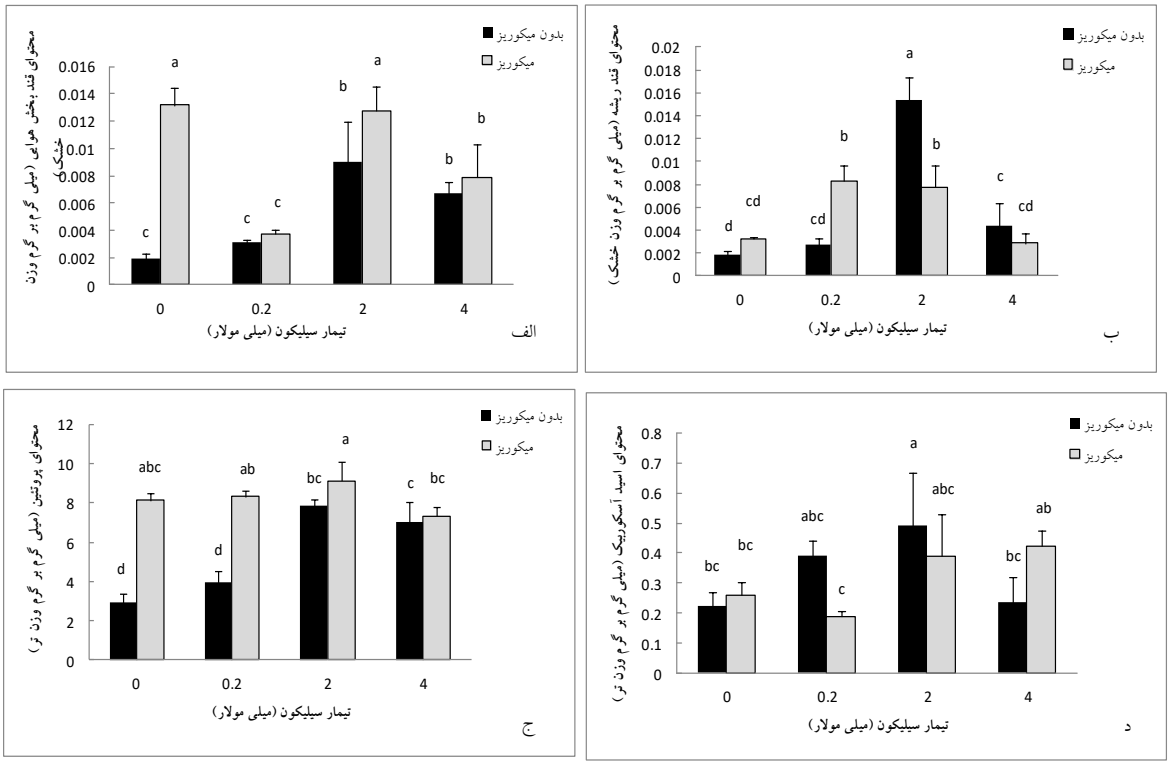
سینگ، ۱۹۹۳). رجون و همکاران در سال ۱۹۹۷ نشان دادند که وزن خشک گیاه گندم همزیست با قارچ میکوریزی *Glomus deserticola* بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی بوده است. در پژوهشی دیگر مشاهده شد که تلقیح ریشه‌های شوید و زنیان با دو گونه قارچ میکوریز سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی آن‌ها می‌گردد (کاپور و همکاران، ۲۰۰۲). همچنین نتایج مشابه ای در گیاه فلفل (سن سوی و همکاران، ۲۰۰۷) و نارنج (وو و ژیا، ۲۰۰۶) مشاهده شد. بنابراین نتایج به دست آمده در این پژوهش هم راستا با نتایج سایر محققان می باشد. افزایش عملکرد در گیاهان سویای میکوریزائی احتمالاً به دلیل افزایش سطح جذب و در نتیجه تغذیه بهتر و به دنبال آن افزایش فتوسنتز و تولید فرآورده بیشتر و بهبود رشد گیاه بوده است. بررسی نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تیمارهای میکوریزائی محتوی قند گیاه را در اندام های هوائی به طور قابل توجهی افزایش دادند اما تاثیری بر محتوی قند ریشه ها نداشتند. تیمارهای سیلیکونی نیز خصوصا در غلظت های ۲ و ۴ میلی مولار سبب افزایش محتوی قندی گیاه چه در ریشه ها و چه در اندام های هوائی شدند. همچنین محتوی قند ریشه ها در تیمارهای هم زمان میکوریز و سیلیکون (غلظت های ۰,۲ و ۲ میلی مولار) افزایش معنی داری داشت اما برعکس در اندام های هوائی محتوی قندی کاهش نشان داد (شکل ۳). بنابراین می توان گفت که اعمال تیمارهای سیلیکونی و میکوریزائی چه به صورت تنها و چه به صورت همزمان عموما اثرات مثبتی در افزایش محتوی قندی گیاه خصوصا اندام های هوائی داشته اند. افزایش قندهای احیا معمولا در شرایط تنش مشاهده می شود که با افزایش فشار اسمزی به تعدیل تنش کمک می کنند. اما در این پژوهش شرایط تنش زایی وجود نداشت بنابراین افزایش قندهای محلول می تواند ناشی از بهبود عملکرد فتوسنتزی گیاه به دلیل اعمال تیمارهای سیلیکونی و میکوریزائی باشد. افزایش محتوی قند گیاه توسط میکوریز در گیاه آفتاب گردان نیز مشاهد شده است (دهقان و خارا، ۱۳۹۹). با توجه به نقش مهمی که فسفر در شکستن کربوهیدرات‌ها و ساختن پلی‌ساکاریدها ایفا می‌کند می توان گفت که قارچ های میکوریزائی از طریق افزایش جذب فسفر و افزایش عملکرد فتوسنتزی گیاه سبب افزایش محتوی قند احیای آن می شوند. اهمیت فسفر در انتقال انرژی در طی فتوسنتز از مدت‌ها پیش شناخته شده است، بنابراین قارچ‌های میکوریز می‌توانند محرکی برای افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه و در نتیجه افزایش کربوهیدرات‌ها باشند (دوبیوز و همکاران، ۱۹۵۶). مکانیسم دیگر تاثیر این قارچ‌ها در افزایش محتوای قند، افزایش مقدار هورمون‌های سیتوکینین و جیبرلین در گیاهان میکوریزی است (آلن و همکاران، ۱۹۸۲؛ نمت الا و همکاران، ۲۰۰۸). افزایش در میزان این هورمون‌ها به‌ویژه سیتوکینین می‌تواند با انتقال یون‌های موثر در باز شدن روزنه‌ها و تنظیم سطح کلروفیل، موجب بالا رفتن سرعت فتوسنتز و در نهایت افزایش محتوای کربوهیدرات در گیاهان شود. گزارش شده که قارچ‌های میکوریزی با توسعه حجمی و وزنی ریشه گیاه سویا و با در اختیار گذاشتن آب و مواد غذایی بیشتر به گیاه همزیست خود باعث افزایش فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای شده و با کاهش انتقال ساکارز به خارج از برگ‌ها منجر به افزایش کربوهیدرات‌ها می‌گردد. این فرایند نقش مهمی در تنظیم اسمزی بافت ایفا می‌نماید (لو بیانکو و همکاران، ۲۰۰۰). پژوهش های مختلف نقش های متفاوتی را برای سیلیکون در تنظیم قند های احیا در گیاهان قائل می شوند. به عنوان مثال کافی و همکاران (۲۰۱۱) بر روی گیاه سورگوم به این نتیجه رسیدند که کاربرد سیلیکون منجر به افزایش میزان قند احیا در گیاه می‌شود، اما دلاور و همکاران (۱۳۹۷) چنین اثری را در گیاه ذرت مشاهده نکردند. از سوی دیگر هم تیمار های میکوریزائی و هم تیمارهای سیلیکونی هر دو سبب افزایش محتوی پروتئین گیاه در مقایسه با گروه شاهد شدند اما بر هم کنش آنها تاثیری در افزایش محتوی پروتئین گیاه نداشت به جز در تیمار سیلیکون ۰,۲ مولار که تیمارهای میکوریزائی در مقایسه با گروه فاقد میکوریز محتوی پروتئین بیشتری داشتند (شکل ۳). در این زمینه دهقان و خارا (۱۳۹۹) افزایش محتوی پروتئین اندام های هوائی و ریشه ها تحت تیمار میکوریزائی در گیاه آفتاب گردان را گزارش کردند. سوبرامانیان و همکاران (۱۹۹۸) بیان کردند که همزیستی با قارچ‌های میکوریز به گیاه میزبان کمک می‌کند تا غلظت بالایی از پروتئین را در اندام های هوایی و ریشه های خود حفظ کند. مطالعات دیگر نیز نشان دادند که جذب نیتروژن هم در گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان شاهد افزایش می‌یابد که این مسئله نیز می‌تواند یکی از

دلایل افزایش میزان پروتئین‌های محلول در گیاهان میکوریزی باشد (نمک ومردیت، ۱۹۸۱). در برخی موارد قارچ گلوموس توانایی افزایش فعایت آنزیم نیترات ردوکتاز (آنزیم اصلی در احیاء نیترات) را دارد. در گیاهان میکوریزائی با افزایش فعالیت آنزیم مذکور و افزایش نیترات احیاء شده، مقدار پروتئین نیز افزایش می‌یابد (منصوری و همکاران، ۱۳۸۶). بنابراین با توجه به مباحث ذکر شده می توان گفت که علت عدم افزایش بیشتر محتوی پروتئین در حضور هم زمان سیلیکون و میکوریز شاید این باشد که تیمار میکوریزائی تولید پروتئین در گیاه را به حداکثر سقف خود رسانده و حضور همزمان آن با سیلیکون تاثیر بیشتری نمی تواند داشته باشد. بطور کلی محتوی آسکوربیک اسید گیاه تحت تاثیر تیمار های سیلیکونی و میکوریزائی و نیز برهم کنش آن ها قرار نگرفت. تنها تیمار ۲ میلی مولار سیلیکون باعث افزایش معنی دار محتوی آسکوربیک اسید گیاه در مقایسه با گروه شاهد گردید (شکل ۳). با توجه به این که آسکوربیک اسید عموما در شرایط تنش افزایش پیدا می کند (دیکزیت و همکاران، ۲۰۰۱) و گیاهان مورد بررسی در این پژوهش در شرایط تنش نبودند این عدم تغییر منطقی به نظر می رسد. تیمار های میکوریزی باعث افزایش قابل توجه محتوی فسفر اندام های هوایی گردید اما سیلیکون فقط در غلظت ۲ میلی مولار توانست محتوی فسفر را در اندام های هوائی افزایش دهد. بر هم کنش سیلیکون و میکوریز هم تنها در غلظت ۰,۲ میلی مولار سیلیکون سبب افزایش معنی دار فسفر اندام های هوائی گیاهان میکوریزائی در مقایسه با گیاهان غیر میکوریزائی گردید. در ریشه ها هم نتایج تقریبا مشابه ای به دست آمد. میکوریز سبب افزایش قابل توجه فسفر ریشه ها گردید و سیلیکون نیز به جز در غلظت ۰,۲ میلی مولار، محتوی فسفر ریشه ها را به طور معنی داری بالا برد. بر هم کنش سیلیکون و میکوریز هم در همه غلظت ها به جز غلظت ۴ میلی مولار سیلیکون سبب افزایش معنی دار محتوی فسفر ریشه ها گردید (شکل ۴). بنابراین نتایج به دست آمده دراین پژوهش به روشنی نقش میکوریزها را در افزایش محتوی فسفر گیاه نشان داد. سیلیکون نیز تا حدودی عملکرد مشابه ای خصوصا در ریشه ها داشت اما در حضور همزمان میکوریز اثر آن مشهود تر بود. مطالعات نشان می دهند که سیلیکون می تواند جذب عناصر پرمصرف و کم مصرف توسط گیاه را افزایش دهد (اعتصامی و ژئونگ، ۲۰۱۸؛ سوراتو و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین پژوهش های متعددی نقش قارچ های میکوریز را در افزایش جذب عناصر غذائی به خصوص فسفر نشان داده اند. قارچ میکوریز با افزایش سطح جذب ریشه‌ها (کلارک و زتو، ۲۰۰۰) و همچنین آزادسازی اسیدها و اسیدی کردن محیط ریزوسفر به مقدار کم این عناصر کم تحرک را حل کرده و برای گیاه میزبان قابل استفاده می‌گردانند (اورتاس و همکاران، ۲۰۰۸). در آزمایشی روی گیاه پروانش با چند گونه میکوریز صورت گرفت، مشخص شد که افزایش رشد گیاه میکوریزی به دلیل جذب فسفر، بیشتر به خاطر افزایش فعالیت فسفاتاز محلول در شرایط بی کربنات متوسط بود (کارتمیل و همکاران، ۲۰۰۸). سرعت جریان فسفر به درون گیاه میکوریزی ۳ تا ۶ برابر بیشتر از گیاه غیرمیکوریزی است (بولان، ۱۹۹۱).تیمارهای میکوریزائی اثر قابل توجهی بر محتوی پروتوکلروفیلد گیاه داشته و و آن را به طور معنی داری افزایش دادند اما تیمارهای سیلیکونی تنها در غلظت ۲ میلی مولار محتوی این ماده را بالا بردند. با این وجود بر هم کنش سیلیکون و میکوریز در تمامی غلظت های سیلیکون سبب افزایش معنی دار پروتوکلروفیلد در مقایسه با تیمارهای حاوی فقط سیلیکون یا میکوریز گردید (شکل ۵).مطالعه محتوی پیش سازهای کلروفیلی (کلروفیلد های a و b) نشان داد که همزیستی میکوریزائی اثر مثبتی داشته و محتوی این دو ماده را در گیاه افزایش می دهد اما برخلاف آن سیلیکون فاقد چنین اثری بوده است. با این وجود اعمال همزمان تیمارهای سیلیکونی و میکوریزائی اثر معنی داری در افزایش این دو ماده داشته است. نتیجه مشابه ای در مورد کلروفیل a به دست آمد یعنی تیمارهای میکوریزائی چه به صورت تنها و چه به صورت همزمان با سیلیکون سبب افزایش معنی دار محتوی کلروفیل a شدند که با توجه به اینکه کلروفیلد a پیش ساز کلروفیل a است این نتیجه منطقی به نظر می رسد. با این وجود نتیجه مشابه ای در مورد کلروفیل b علی رغم آن که مقدار کلروفیلد b همانند کلروفیلد a افزایش یافته بود به دست نیامد. مقدار کاروتنوئید های گیاه نیز در هیچکدام از تیمارهای سیلیکونی یا میکوریزائی افزایش نشان نداد اما بر هم کنش میکوریز و سیلیکون در غلظت های ۲ و ۴ میلی مولار محتوی این رنگدانه را در گیاهان مورد مطالعه به طور قابل

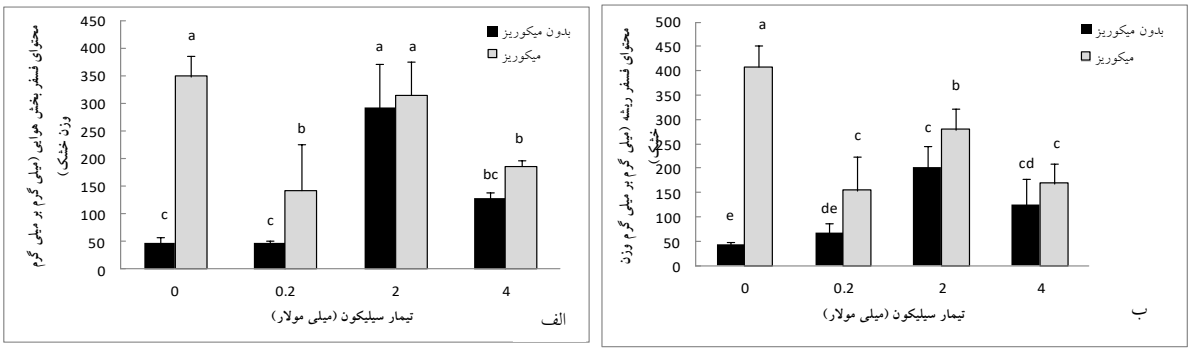
توجهی افزایش داد (شکل ۵). در این زمینه دلاور و همکاران (۱۹۹۷) افزایش معنی دار محتوی کلروفیل های a و b و کاروتنوئیدها را در حضور غلظت های ۱، ۲ و ۴ میلی مولار سیلیکون در گیاه ذرت گزارش کردند. بطور مشابه ای شین و همکاران (۲۰۱۰) اثر مثبت سیلیکون را در افزایش محتوای کلروفیلی گیاه سویا و عرب اول و گنجعلی (۱۴۰۰) در گیاه گندم نشان دادند. اما موسی (۲۰۰۶) گزارش کرد که محتوای کلروفیل های a و b در گیاه ذرت با اعمال تیمار سیلیکون ۳ میلی مولار کاهش پیدا می کند. همچنین فرشیدی و همکاران (۲۰۱۲) در گیاه کانولا تغییری را در محتوای کلروفیل های a و b هنگام اعمال تیمار ۱,۷ میلی مولار سیلیکون مشاهده نکردند. از سوی دیگر وو و ژیا (۲۰۰۶) گزارش کردند که محتوای کلروفیل در گیاهچه‌های تانجرین آمیخته شده با قارچ میکوریزی ۲۳ درصد بیشتر از گیاهان شاهد بود. به‌طورکلی بهبود شرایط تغذیه‌ای و محیطی باعث افزایش توان گیاه در تولید کلروفیل در برگ‌ها و تولید انرژی بیشتر می‌شود. افزایش میزان کلروفیل در اثر تلقیح با قارچ میکوریز می‌تواند ناشی از جذب فسفر از خاک توسط گیاه نیز باشد (اسمیت و رد، ۲۰۰۸). زاکرینی (۲۰۰۷) مشاهده کرد که تلقیح گیاهان کاهو با ترکیبی از سه گونه قارچ میکوریزی *G. intaradices*، *G. mosseae* و *G. coronatum* باعث مقاومت به تنش شوری شده و میزان کلروفیل در گیاهان تلقیح شده افزایش می یابد. به‌طورکلی گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان شاهد از محتوای رنگیزه فتوسنتزی بیشتری برخوردار بودند. کاپور و همکاران (۲۰۰۸) بهبود فتوسنتز در گیاهان همزیست با قارچ میکوریز را نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی نشان دادند و آن را مربوط به بهبود جذب فسفر در گیاه دانستند. همچنین آن‌ها بالا بودن غلظت کلروفیل b را در گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی گزارش کردند. بررسی عبدل واسا و خالد (۲۰۱۰) نشان داد که قارچ‌های میکوریزی تمامی پارامترهای رشدی گیاهان جعفری تلقیح شده را در مقایسه با گیاهان غیرتلقیح شده تحریک می‌نماید. همچنین این قارچ‌ها رنگدانه‌های فتوسنتزی (کاروتن در گل‌ها و کلروفیل a و b در برگ‌ها) را در تمامی تیمارهای کاملاً آبیاری شده و یا تحت تنش آبی بهبود بخشیدند.با توجه به پژوهش های ذکر شده تیمارهای سیلیکونی و میکوریزائی هر دو عموما سبب افزایش محتوای رنگدانه ای گیاهان می شوند. بنابراین حضور همزمان آن ها می تواند سبب افزایش بیشتری در محتوی رنگدانه ای گیاه شود که نتایج حاصل از این پژوهش به روشنی این مسئله را آشکار ساخت.



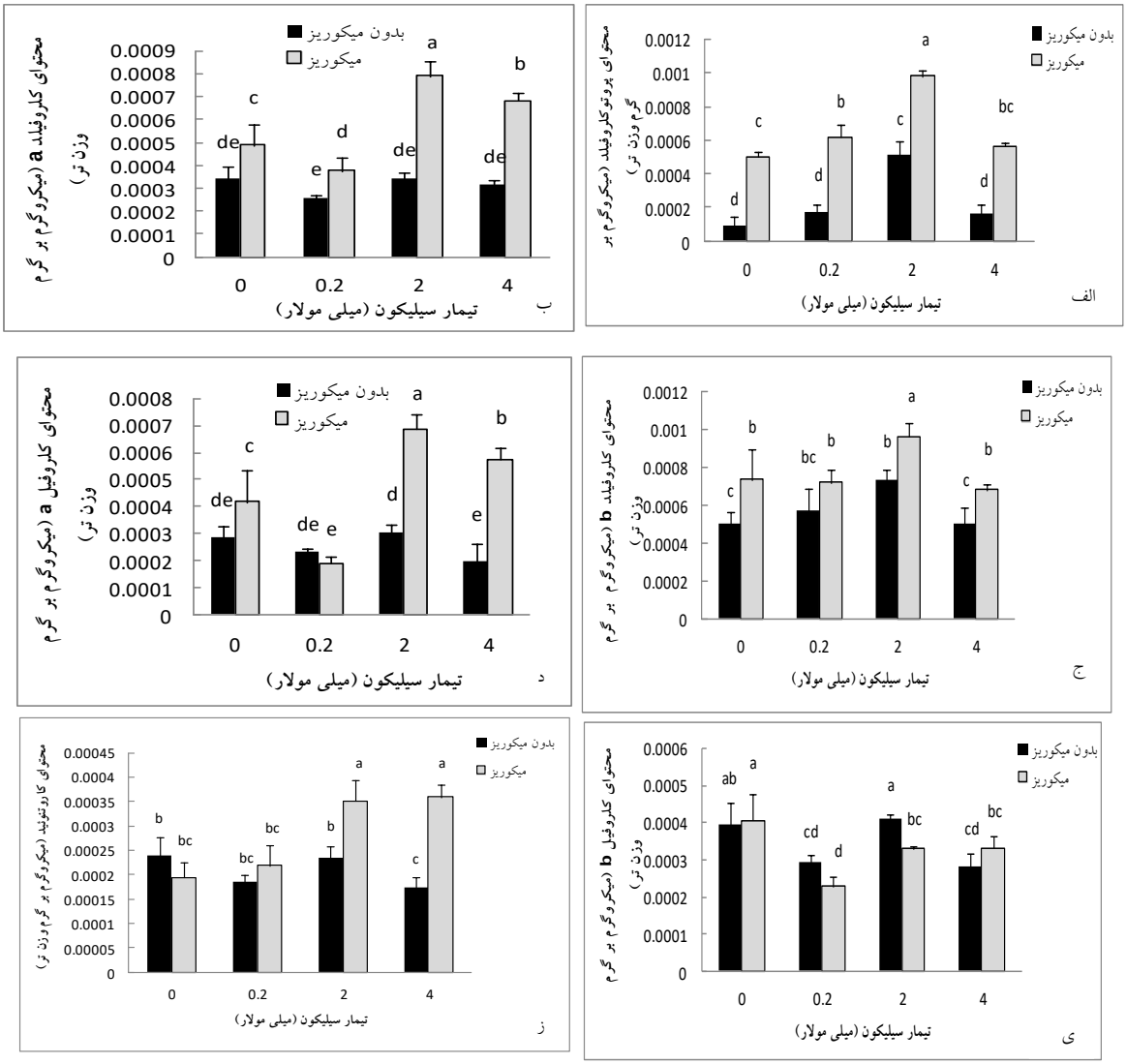
شکل ۲- اثر تیمارهای مختلف سیلیکونی و میکوریزائی بر وزن تر بخش هوائی(الف)، وزن خشک بخش هوائی (ب)، وزن تر ریشه (ج) و وزن خشک ریشه (د) در گیاه سویا



شکل ۳- اثر تیمارهای مختلف سیلیکونی و میکورزائی بر محتوی قند بخش هوائی (الف)، محتوی قند ریشه (ب)، محتوای پروتئین (ج) و محتوی آسکوربیک اسید (د) در گیاه سویا



شکل ٤- اثر تیمارهای محتلف سیلیکونی و میکورزائی بر محتوی فسفر بخش هوائی (الف) و ریشه (ب) در گیاه سویا



شکل ۵- اثر تیمارهای محتلف سیلیکونی و میکورزائی بر محتوی پروتوکلروفیلد (الف)، کلروفیلد a (ب)، کلروفیلد b (ج)، کلروفیل a (د)، کلروفیل b (ی) و کاروتنوئید (ز) در گیاه سویا

به طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بر هم کنش تیمارهای سیلیکونی و میکورزائی تاثیری در افزایش پارامترهای رشدی گیاه ندارد اگرچه هر کدام از آن ها به تنهائی اثر گذار بودند. بر هم کنش سیلیکون و میکوریز بر روی محتوی پروتئین و آسکوربیک اسید گیاه نیز اثری نداشت ولی محتوی قند ریشه ها را افزایش داد. محتوی فسفر گیاه نیز تقریبا تحت تاثیر بیشتر تیمارهای به کار رفته افزایش نشان داد. همچنین محتوای پیش سازهای کلروفیلی شامل پروتوکلروفیلد و کلروفیلدهای a و b همگی تحت تاثیر تیمارهای میکوریزی و نیز بر هم کنش سیلیکون و میکوریز افزایش معنی داری نشان دادند. از سوی دیگر اعمال هم زمان تیمارهای سیلیکونی و میکوریزائی باعث افزایش محتوی کلروفیل a و کاروتنوئید ها شد اگرچه روی میزان کلروفیل b تاثیری نگذاشت. به طور کلی اعمال همزمان تیماری های میکوریزائی و سیلیکونی بر روی پارامترهای رشدی و فیزیولوژیکی گیاه اثر کمی داشت اما باعث افزایش معنی دار محتوی رنگدانه ای گیاه گردید و بنابراین استفاده از آن توصیه می شود.

منابع

دلاور ک.، ف. قناتی، م. بهمنش و ح. زارع مایوان. ۱۳۹۷. تأثیر تغذیه سیلیکونی بر پارامترهای فیزیولوژیک گیاه ذرت. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۷، شماره ۲۷: صفحات ۴۵-۵۷.

دهقان، ز .و ج .خارا.۱۳۹۹ . تأثیر همزیستی میکوریزی در تعدیل اثرات زیانبار علف کش هالوکسی فوپ-آر متیل استر در آفتابگردان .مجله اکوفیزیولوژی گیاهی .شماره ۴۳: صفحات ۴۶-۵۷.

عرب اول، م .و ح.ر .گنجعلی. ۱۴۰۰. اثر سیلیکون و کود زیستی نیتروکارا بر پارامترهای مورفوفیزیولوژیک گندم تحت رژیمهای مختلف آبیاری .مجله اکوفیزیولوژی گیاهی، شماره ۴۴: صفحات ۹۹-۱۰۱.

منصوری، ح. و ع. احمدی مقدم. ۱۳۸۶. تاثیر میکوریز در مقاومت گیاه جو *Hordeum vulgare* به شوری. مجله پژوهشی علوم پایه اصفهان. جلد ۲۴، شماره ۲: صفحات ۳۸-۲۷.

Abdul-Wasea, A. A. and M. E. Khalid. 2010. Alleviation of drought stress of marigold *(Tagetes erecta)* plants by using arbuscular mycorrhizal fungi. Saudi. J. Biol. Sci. 18: 93-98.

Allen, M. F., T. S., Moore and M. Christensen. 1982. Phytohormone changes in *Bouteloua gracilis* infected by vesicular-arbuscular mycorrhiza. II Altered levels of gibberellin-like substances and abscisic acid in the host plant. Can. J. Botn. 60: 468-471.

Bolan, N.S. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. Plant. Soil. 134, 2: 189-207

Bradford, M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantites of protein utilizing the prainciple of protein- dye binding. Anal. Biochem. 72: 248-254

Cartmil, A. D., L. A. Valdezagular, D. L. Bryan and A. Alarcon. 2008. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance tolerance of vinca to high alkalinity in irrigation water. J. Hortic. Sci. Biotech. 115: 275-284.

Chapman, H. D. and F. Pratt. 1961. Ammonium vandate-molybdate method for determination of phosphorus. Methods of analysis for soils, plants and water USA: California University, Agriculture Division, 184-203.

Clark, R. B. and S. K. Zeto. 2000. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. J. Plant. Nutr. 23: 867-902.

De Pinto, M. C, D. Francis and L. D. Gara. 1999. The redox state of ascorbatredehydroascorbate pairas a specific sensor of cell division in tobacco BYZ cells. Protoplasm. 209: 90-97.

Dixit, V., V. Pandey and R. Shyam. 2001. Differential antioxidative responses to cadmium in roots and leaves of pea (*Pisum sativum*). J. Exp. Bot. 52: 1101-1109.

Dubios, M., K. A. Gilles, J. K. Hamilton, P. A. Robertsand and F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Ann. Chem. 28: 350-356.

Epstein, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 91: 11–17.

Etesami, H. and B. R. Jeong. 2018. Silicon (Si): review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants. Ecotoxicol. Environ. Saf. 147: 881–896.

Farshidi, M., A. Abdolzadeh and H. R. Sadeghipour. 2012. Silicon nutrition alleviates physiological disorders imposed by salinity in hydroponically grown canola (*Brassica napus* L.) plants. Acat. Physiol. Plant. 34: 1779–1788.

FAS (Foreign Agriculture Service). 2005. Oilseeds: world market and trades. Current World Production, Market and trade reports

García-Rodriguez, S., M.J. Pozo, C. Azcón-Aguilar and N. Ferrol. 2005. Expression of a tomato sugar transporter is increased in leaves of mycorrhizal or *Phytophthora parasitica* infected plants Mycorrhiza. Mycorriza. 15: 489-496.

Gaur, A., A. Adholeya and K. G. Mukergi. 2000. On farm production of VAM inoculums and vegetable crops in marginal soil amended with organic matter. Trop. Agr. 77(1): 21-26.

Hause, B., C. Mrosk, S. Isayenkov and D. Strack. 2007. Jasmonates in arbuscular mycorrhizal interactions. Phytochemistry. 68: 101-110.

Hewitt, E. J. 1966. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. Tech. Commun. 22, Common wealth Bureaux of Hort. and Plantation Crops, East Malling, England.

Kafi, M., J. Nabati, A. Masoumi and M. Zare-Mehrgerdi. 2011. Effect of salinity and silicon application on oxidative damage of sorghum (*Sorghum bicolor* L.). Pak. J. Bot. 43(5): 2457-2462.

Kapoor, R., B. Giri and K. G. Mukerji. 2002. *Glomus macrocarpum*: a potential bioinoculant to improve essential oil quality and concentration in dill (*Anethum graveolens* L.) and Carum (*Trachyspermum ammi* Sprague). World. J. Microb. Biot. 18(5): 459-463.

Kapoor, R., D. Sharma and A. K. Bhatnagar. 2008. Arbuscularmycorrhizae in micropropagation systems and their potential application. Sci. Hortic. 116: 227-239.

Khaje-Pour, M. R. 2006. Industrial Crops. Jahad Academic Publications, Esfahan Industrial Unit. Pages 92-125.

Khan, A. G. 2002. The Significance of Microbes. In: Wong, M.H., Bradshaw, A.D. (Eds.), The Restoration and Management of Derelict Land: Modern Approaches. World Scientific Publishing, Singapore, pp.80-92.

Lo Bianco, R., M. Rieger and S. S. Sung. 2000. Effect of drought on sorbitol and sucrose metabolism in sinks and sources of peach. Physiol. Plantarum. 108: 71–78.

Ma, J.F., and E. Takahashi. 2002. Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan. Elsevier, Amsterdam.

Mahaveer, P. S. and A. Alok. 2000. Enhanced growth and productivity following inoculation with indigenous AM fungi in four varieties of onion (*Allium cepa* L.) in an alfisol. Biol. Agric. Hortic. 18: 1-14.

Maleki, A., A. Naderi, R. Naseri, A. Fathi, S. Bahamin, and R. Maleki, .2013. Physiological Performance of Soybean Cultivars under Drought Stress. Bull. Env. Pharmacol. Life Sci. 6: 38-44

Marschner, H. and B. Dell. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. Plant. Soil. 159: 89-102.

Moussa, H. R. 2006. Influence of exogenous application of silicon on physiological response of salt-stressed maize (*Zea mays* L.). Int. J. Agric. Biol. 8: 293-297.

Nemat-Alla, M. M., A. M. Badawi, N. M. Hassan, Z. M. El-Bastawisy and E. G. Badran. 2008. Effect of metribuzin, butachlor and chlorimuron-ethyl on amino acid and protein formation in wheat and maize seedlings. Pestic. Biochem. Phys. 90: 8-18.

Nemec, S. and F. I. Meredith. 1981. Amino acid content of leaves in mycorrhizal and nonmycorrhizal citrus rootstocks. Ann. Bot. 47: 351-358.

Ortas, I., H. Y. Dasgan and S. Kusvuran. 2008. Responses of soilless grown tomato plant to arbuscular mycorrhizal fungal (*Glomus fasciculatum*) colonization in re cycling and open systems. Afr. J. Biotechnol. 7: 3606-3613.

Perner, H., D. Schwarz, A. Kngelika and E. George. 2011. Influence of sulfur supply, ammonium nitrate ratio, and arbuscular mycorrhizal colonization on growth and composition of Chinese chive. Scientia Horticulturae 130: 485-490.

Porra, R. J., W.A. Thampson and P. E. Kriedelman. 1989. Determination of accurate extraction and simultaneously equation for assaying chlorophyll a and b extracted with different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. Biochim. Biophys. Acta, 975: 384-394.

Rajapakes, S. and J.C. Miller. 1992. 15 methods for studying vesicular-arbuscular mycorrhizal root colonization and related root physical properties. Method. Microbiol. 24: 301-316.

Rejon, A., I. Garcia-Romera, J. A. Ocampo and G. J. Bethlenfalvay. 1997. Mycorrhizal fungi influence competition in a wheat-ryegrass association treated with the herbicide diclofop. Applied Soil Ecology 7: 51-57.

Sensoy, S., S. Demir, O. Turkmen, C. Erdinc and O. Burak-Savur. 2007. Responses of some different pepper (*Capsicum annum* L.) genotypes to inoculation with two different arbuscular mycorrhizal fungi. Sci. Hortic 113: 92-95.

Shen, X., Y. Zhou, L. Duan, Z. Li, A. E. Eneji and J. Li. 2010. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. J. Plant. Physiol. 167: 1248–1252.

Singh, H. P. and T. A. Singh. 1993. Effect of VA mycorrhizae in chickpea, Mycorrhizae. 3: 37-39.

Smith, S. E. and D. J. Read. 2008. Mycorrhizal Symbiosis, third ed. Academic Press, London, UK.

Snyder, H. G., V. V. Matichenkov and E. L. Datnoff. 2006. Chaper 19: Silicon. Handbook of Plant Nutrition CRC Press

Somogy, M. 1952. Notes on sugar determiation. J. BIOL. CHEM. 195: 19-29.

Soratto, R. P., A. M. Fernandes, C. Pilon and M. R. Souza. 2019. Phosphorus and silicon effects on growth, yield, and phosphorus forms in potato plants. J. Plant Nutr. 42: 218– 233.

Souri, Z., K. Khanna, N. Karimi and P. Ahmad. 2021. Silicon and plants: current knowledge and future prospects. J. Plant Growth Regul. 40: 906–925.

Subramanian, K. S. and C. Chare. 1998. Arbuscular mycorrhizae and nitrogen as similation in maize after drought and recovery. Physiologia Plantarum 102: 285-296.

Tajik-khave, M., I. Allahdadi, J. Daneshian and O. Armandpishe. 2011. Effect of biological fertilizers on soybean growth (*Glycine max* L.) seeds under water stress conditions. J. Agroeco. 3: 337-346.

Wu, Q. S. and R. X. Xia. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. J. Plant. Physiol. 163: 417-425.

Zuccarini, P. 2007. Mycorrhizal infection ameliorates chlorophyll content and nutrient uptake of lettuce exposed to saline irrigation. Plant. Soil. Environ. 53: 283-289.

Yang, C. M., K. W. Chang, M. H. Yin and H. M. Huang. 1998. Methods for the Determination of the Chlorophylls and their Derivatives. Taiwania.43(2): 116-122

Effect of the silicon and mycorrhizal symbiosis interaction on some biochemical and physiological parameters of soybean (*Glycine max* L.)

Kourosh Dellavar[1*], Farangis Rezaei[1]

Received:27 Oct. 2023, Accepted: 6 Dec.2023

Abstract

In current study, the effect of silicon treatments, mycorrhizal symbiosis and their interaction on some biochemical and physiological parameters of soybean were investigated. Soybean seedling (*Glycine max* L.) was inoculated with mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* and treated with four concentrations (0, 0.2, 2 and 4 mM) of silicon. After two months, the plants were collected and some biochemical and physiological parameters were evaluated. The results showed that although the mycorrhizal symbiosis and silicon treatments increased the growth of the soybean plant, their interaction did not have such effect. The reduced sugar and protein contents of the plant, especially in shoots, generally increased in the mycorrhizal symbiosis and silicon treatments, but the interaction of them only increased the reduced sugar content of the plant. The phosphorus content of the plant increased strongly under the mycorrhizal symbiosis plants. Silicon in interaction with mycorrhiza symbiosis also increased the amount of phosphorus in the roots. The content of chlorophyll precursors, including protochlorophyll and chlorophylds a and b, showed a significant increase under the mycorrhizal symbiosis treatments and there interaction with silicon treatment. Both silicon and mycorrhizal symbiosis treatments did not have any effect on the chlorophyll a and b and carotenoids contents of the plant, but their simultaneous application increased the content of chlorophyll a and carotenoids. In general, the simultaneous application of mycorrhizal symbiosis and silicon treatments had slight effects on the growth and physiological parameters of the soybean, but it caused a significant increase in the pigment content of the plant.

Key words: Silicon, Mycorrhizal symbiosis, Soybean

1.Department of Biology, Ashtian Branch, Islamic Azad University, Ashtian, Iran