ویژگی‌های کیفی بذرآفتابگردان در واکنش به باکتری‌های افزاینده رشد گیاه در شرایط تنش آبی

جلال جلیلیان[۱]، سید علی‌محمد مدرس‌ثانوی[۲]، احمد اصغرزاده[۳] و محسن فرشادفر[۴]

چکیده

برای بررسی ویژگی‌های کیفی بذر آفتابگردان در واکنش به باکتری‌های افزاینده رشد گیاه و سطوح مختلف کود اوره، آزمایشی در سال ۱۳۸۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اسلام آباد غرب، استان کرمانشاه، به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا گردید. کرت‌های اصلی شامل: تنش آبی در ۳ سطح [آبیاری در ۸۵ درصد گنجایش زراعی، آبیاری در ۷۰ درصد گنجایش زراعی و آبیاری در ۵۵ درصد گنجایش زراعی] و کرت‌های فرعی شامل تیمار کودی در ۶ سطح [شاهد(C)، کاربرد ۱۰۰ درصد کود نیتروژنه توصیه شده (۱۲۵ کیلوگرم اوره در هکتار) (N)، مایه‌زنی بذر با ازتوباکتر و آزوسپیریلوم (AA)، مایه‌زنی بذر با ازتوباکتر و آزوسپیریلوم + ۱۰۰ درصد توصیه کودی نیتروژنه (AA_{100})، مایه‌زنی بذر با ازتوباکتر و آزوسپیریلوم + ۷۵ درصد توصیه کودی نیتروژنه (AA_{75}) و مایه‌زنی بذر با ازتوباکتر و آزوسپیریلوم +۵۰ درصد توصیه کودی نیتروژنه (AA_{50})] در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که اثر تنش آبی بر درصد پروتیین بذر معنی‌دار بود، هم‌چنین تیمار کودی تاثیر معنی‌داری بر درصد پروتیین داشت. از تیمارهای I_3 و AA_{100} بالاترین درصد پروتیین به دست آمد. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان روغن به‌ترتیب از تیمارهای I_1AA_{100} و I_3C به دست آمد. بیش‌ترین میزان اسید پالمتیک و اسید استئاریک در تیمار I_3C مشاهده شد ولی کم‌ترین میزان آن‌ها از تیمار I_1AA به دست آمد. تیمارهای I_1AA_{50} و I_1AA به ترتیب اسید اولئیک و لینولئیک را به طور معنی‌داری افزایش دادند، در حالی‌که میزان اسید اولئیک و لینولئیک به ترتیب در تیمارهای I_3AA_{100} و I_3AA_{75} کم‌ترین بود. روی‌هم‌رفته، تنش خشکی سبب کاهش درصد روغن و درصد اسیدهای چرب اولئیک و لینولئیک گردید ولی سبب افزایش اسیدهای چرب اشباع (پالمتیک و استئاریک) شد. کاربرد کودهای زیستی همراه با اوره درصد روغن، پروتیین و اسیدهای چرب غیر اشباع در بذر آفتابگردان را به گونه‌ی معنی‌داری افزایش داد. با توجه به تاثیر مثبت کودهای زیستی بر ویژگی‌های کیفی بذر آفتابگردان و کم‌هزینه بودن آن‌ها، استفاده از این ریزجانداران در کشت آفتابگردان توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آفتابگردان، کودهای زیستی، ازتوباکتر، آزوسپیریلوم، نیتروژن اسیدهای چرب

---

۱. دانشجوی دکترای زراعت دانشگاه تربیت مدرس

۲. دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

۳. استادیار موسسه تحقیقات خاک و آب تهران

۴. استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه

مقدمه

آفتابگردان با نام علمی *Helianthus annus* L. یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی در جهان می‌باشد که به دلیل مناسب بودن نیازهای زراعی، عملکرد بالای روغن، بالا بودن ارزش غذایی و فقدان فاکتورهای ضد تغذیه‌ای، سطح زیر کشت آن در سال‌های اخیر افزایش یافته است (سوسولسکی، ۱۹۷۹). دشواری‌های زیست محیطی ناشی از کاربرد کودهای شیمیایی، انرژی و هزینه‌های تولید و مصرف آن‌ها و پیامدهای نادرستی که بر چرخه‌های زیستی بوم سامانه‌های زراعی دارند از یک سو و مساله‌ی تامین غذای کافی و دارای کیفیت مناسب برای جمعیت روز افزون جهان از دیگر سو، تجدید نظر در روش‌های افزایش تولید محصولات زراعی را ضروری ساخته است. از این رو کاربرد فرآورده‌های زیستی برای تغذیه‌ی گیاهان زراعی به عنوان راه‌کاری بنیادین مد نظر قرار گرفته است.

در سال‌های اخیر کودهای زیستی -که به استفاده از ریزجانداران (باکتری‌ها و قارچ‌ها) برای رشد و تولید گیاهی گفته می‌شود- به عنوان ترکیب‌های نوید بخشی برای تامین نیازهای غذایی گیاهان در سیستم‌های کشاورزی معرفی شده‌اند (سوبا روا و دومرگس، ۱۹۹۸). از بین کودهای زیستی مفید و سودمند برای تولید در گیاهان می‌توان به ازتوباکتر و آزوسپیریلوم، جلبک‌های سبز-آبی، ریزجانداران حل کننده‌ی فسفات، هم‌زیستی ریشه-قارچ اشاره کرد (هیدج و همکاران، ۱۹۹۹).

رابطه‌ی متقابل بین کودهای زیستی و گیاهان میزبان می‌تواند منجر به دامنه‌ای از پیامدهای مثبت شامل افزایش رشد و نمو، مقاومت در برابر بیماری‌ها و بهبود بنیه‌ی گیاهان میزبان در برابر تنش‌های محیطی گردد (استورز و نوواک، ۲۰۰۰).

اهمیت اثر تنش‌های محیطی و نقش آن‌ها در پیش‌بینی و ارزیابی رشد و عملکرد محصولات زراعی بسیار آشکار است. خشکی و کم آبی در ایران همواره یکی از مهم‌ترین دشواری‌های کشاورزی بوده و هر گونه پژوهش در مورد اثر آن بر گیاهان زراعی دارای اهمیت خواهد بود. یکی از پیامدهای ثانویه خشکی، بر هم زدن تعادل تغذیه‌ای گیاه است. گیاهی که به مقدار کافی عناصر غذایی را دریافت کرده باشد مقاومت بهتری به خشکی خواهد داشت که در این راستا کمیت و کیفیت محصول نیز تحت تاثیر قرار می‌گیرد. کودهای زیستی می‌توانند به عنوان یک عامل کاهش دهنده پیامدهای تنش‌های محیطی به‌ویژه تنش خشکی عمل نمایند (استورز و نوواک، ۲۰۰۰).

گزارش شده است که مایه‌زنی بذرهای ذرت با ازتوباکتر کروکوکوم توام با مصرف مقادیر مختلف کود نیتروژن سبب افزایش عملکرد ماده‌ی خشک، پروتیین خام، نسبت برگ‌های سبز بوته به بیوماس کل و میزان علوفه‌ی ذرت نسبت به تیمار شاهد گردیده است (سینگ و همکاران، ۱۹۹۳). پژوهش‌های زیادی، سودمندی آزوسپیریلوم را برای آفتابگردان نشان داده‌اند و گزارش شده است که برخی از گونه‌های آزوسپیریلوم رشد را در آفتابگردان به گونه چشم‌گیری افزایش می‌دهند (فاجز و آرساک، ۱۹۹۱).

هم‌چنین گزارش شده است که بهره‌گیری از ترکیب مناسب کود دامی، ازتوباکتر و نیتروژن معدنی باعث ۵۰ درصد صرفه جویی در مصرف نیتروژن و بهبود عملکرد گندم گردید (ادریس، ۲۰۰۳). مایه‌زنی ریشه‌های کلزا، گندم، گوجه‌فرنگی و آفتابگردان با ازتوباکتر پاسپالی[1] رشد و توسعه‌ی گیاهی را به‌صورت معنی‌داری افزایش داد و منجر به افزایش وزن ریشه، اندام هوایی و سطح ریشه گردیده است (عباس و اوکون، ۱۹۹۳). مایه‌زنی آفتابگردان با آزوسپیریلوم نیز پیامدهای مثبتی بر رشد به ویژه در شرایط آبیاری مطلوب داشته است (ایتزیگسوهن و همکاران، ۱۹۹۵).

برای موفقیت در کشاورزی بایستی از آزوسپیریلوم به عنوان یک باکتری کمک کننده با سایر ریزجانداران سودمند بهره‌گیری شود که در این راستا، آزوسپیریلوم به کارکرد بهتر سایر ریزجانداران کمک کرده و به گونه‌ی مستقیم هم اثر مثبتی بر رشد گیاه دارد (باشان و هولگوین، ۱۹۹۷).

پیامد تیمارهای کودی و تنش کم‌آبی بر

1. *Azospirillum paspali*

عملکرد دانه آفتابگردان به گونه‌ای گسترده مورد بررسی قرار گرفته است، در حالی‌که پژوهش در مورد تغییر در کیفیت روغن و ترکیب اسیدهای چرب در نتیجه‌ی این عوامل زراعی و کودهای زیستی در ایران اندک است. با توجه به اهمیت گیاه زراعی آفتابگردان و نقش موثر کود نیتروژن در کیفیت آن، پژوهش حاضر برای بررسی عملکرد کیفی آن تحت تاثیر باکتری‌های افزاینده رشد (ازتوباکتر و آزوسپیریلوم) و مقادیر مختلف کود نیتروژن در شرایط تنش کم‌آبی طراحی و اجرا گردیده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۸۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی شهرستان اسلام‌آباد غرب اجرا گردید. در این پژوهش پیامدهای دو عامل به صورت کرت‌های خرد شده با طرح پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. ویژگی‌های اقلیمی و جغرافیایی مکان اجرای پژوهش و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مزرعه به‌ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ ذکر شده است.

برای تشخیص ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه از نقاط مختلف به شکل زیگزاگ تا عمق ۶۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری و نیتروژن کل به روش کجلدال، فسفر با روش اولسن، پتاسیم به روش فلیم فتومتر اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری FC و PWP از روی نمونه خاک دست خورده و با استفاده از روش صفحات فشاری در آزمایشگاه موسسه تحقیقات آب و خاک تهران انجام شد (جدول ۲).

تیمارهای مورد بررسی در آزمایش شامل کرت‌های اصلی با ۳ سطح (آبیاری در ۸۵ درصد گنجایش زراعی (I_1)، آبیاری در ۷۰ درصد گنجایش زراعی (I_2) و آبیاری در ۵۵ درصد گنجایش زراعی (I_3)) و کرت‌های فرعی شامل تیمار کودی با ۶ سطح: شاهد(C)، کاربرد ۱۰۰ درصد کود نیتروژنه توصیه شده (۱۲۵ کیلوگرم اوره در هکتار) (N)، مایه‌زنی بذر با ازتوباکتر و آزوسپیریلوم (AA)، مایه‌زنی بذر با ازتوباکتر و آزوسپیریلوم + ۱۰۰ درصد توصیه کودی نیتروژنه (AA_{100})، مایه‌زنی بذر با ازتوباکتر و آزوسپیریلوم + ۷۵ درصد توصیه کودی نیتروژنه (AA_{75}) و مایه‌زنی بذر با ازتوباکتر و آزوسپیریلوم +۵۰ درصد توصیه کودی نیتروژنه (AA_{50}) در نظر گرفته شدند. هر کرت آزمایشی شامل ۵ ردیف بود. فاصله بین ردیف‌ها و بوته‌ها بر روی ردیف به گونه‌ای ثابت برای همه واحدهای آزمایش به ترتیب ۶۰ و ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. روی‌هم‌رفته آزمایش دارای ۱۸ تیمار در هر بلوک و ۵۴ واحد آزمایشی (۳×۶×۳) بود. هر واحد آزمایشی به ابعاد ۲/۴ متر عرض در ۴ متر طول در نظر گرفته شد. بین هر دو کرت فرعی، یک متر و بین هر دو کرت اصلی، ۱/۵ متر فاصله وجود داشت و فاصله بین دو تکرار نیز دو متر بود. پس از کاشت، سیستم آبیاری با استفاده از ۳ کنتور مجهز به شیر فلکه به کار برده شد. برای اندازه‌گیری و پایش رطوبت خاک از روش بازگشت سنجی زمانی (TDR)[1] (مدل ۴۵۹۳) استفاده شد.

برای این کار لوله‌های یک متری دستگاه تا عمق یک متری در درون تیمارهای تنش رطوبتی به تعداد ۶ عدد در تکرار اول و دوم نصب گردیدند. و درصد رطوبت حجمی خاک تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متر مورد سنجش قرار گرفت (از روش رطوبت سنجی وزنی گاهی اوقات برای سنجش دقت روش TDR نیز استفاده می‌گردید) و با توجه به تیمارهای تنش، میزان دقیق آب آبیاری تعیین گردید. سپس با استفاده از کنتور، میزان آب در حد تعیین شده به هر کرت داده شد. عمق خالص آب آبیاری (d) بر حسب متر و حجم آب آبیاری (V_w) بر حسب مترمکعب برای هر سطح آبیاری به کمک فرمول‌های زیر محاسبه شد (علیزاده،۱۳۸۱):

$$d= (\theta_{FC} - \theta_i) \times D$$

$$V_w= (\theta_{FC} - \theta_i) \times D \times A$$

اجزای این فرمول‌ها به شرح زیر است:

θ_{FC}= درصد رطوبت حجمی خاک در گنجایش زراعی،

θ_i= درصد رطوبت حجمی خاک پیش از اعمال آبیاری،

D= عمق توسعه‌ی عمودی ریشه بر حسب متر و

A= مساحت کرت بر حسب متر می‌باشند.

1. Time Domain Reflectometry

جدول۱: مشخصه‌های اقلیمی و جغرافیایی مکان اجرای پژوهش

ارتفاع از سطح دریا (m)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	میانگین بارندگی سالیانه (mm)	میانگین دمای کمینه در مدت اجرای طرح (C)	میانگین دمای بیشینه در مدت اجرای طرح (C)
۱۳۴۶	۲۶َ و ۴۶ْ	۸َ و ۳۴ْ	۵۱۱/۷	۱۲/۴	۳۳/۳

جدول۲: برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی تا عمق ۶۰ سانتی‌متری

بافت خاک	pH	هدایت‌الکتریکی (ds/m)	گنجایش زراعی (%V/V)	نقطه پژمردگی دائم (%V/V)	پتاسیم تبادلی (ppm)	نیتروژن کل (٪)	فسفر (ppm)	کربن آلی (٪)
لوم رسی	۷/۴	۰/۴	۳۴	۱۶/۲	۶۴۰	۰/۰۶۷	۲۶	۰/۵۴

ریزجانداران تثبیت‌کننده‌ی نیتروژن مورد نظر ازتوباکتر کروکوکوم[1] و آزوسپیریلوم لیپوفروم[2] و آزوسپیریلوم برازیلینس[3] در آزمایشگاه بیولوژی خاک موسسه‌ی تحقیقات آب و خاک تهران فرموله و تهیه گردیدند. در تیمارهای مایه‌زنی بذر با این ریزوباکترها، پس از محاسبه‌ی میزان بذر برای هر تیمار (۱۵۰ گرم)، مقدار ۲۰ گرم از مایه که هر گرم آن دارای 5×10^{9} ازتوباکتر و 8×10^{6} آزوسپیریلوم زنده و فعال بود مورد استفاده قرار گرفت (جمعیت باکتری‌ها به روش شمارش کلنی در ظرف تعیین شدند). پس از ریختن بذرهای آفتابگردان درکیسه‌ی پلی‌اتیلنی و افزودن صمغ عربی برای چسبناک کردن سطوح بذرها، کیسه دارای بذر و ماده چسباننده برای مدت ۳۰ ثانیه به شدت تکان داده شد تا رویه همه‌ی بذرها به گونه‌ای یک‌نواخت چسبناک شود. پس از آن، مایه به بذور چسبناک افزوده شد و پس از ۴۵ ثانیه تکان دادن و اطمینان از چسبیدن یکنواخت مایه به بذرها، بذرهای آغشته شده روی ورقه‌ی آلومینیومی تمیز در سایه قرار داده شدند تا رویه بذرها کمی خشک گردند. سپس نسبت به کاشت بذرها اقدام گردید (سوماسیگاران و هوبن، ۱۹۹۴). کاشت روی خطوط کاشت و در عمق ۳ تا ۵ سانتی‌متری انجام گرفت. رقم مورد کاشت، هیبرید آذرگل بود که از موسسه نهال و بذر کرج تهیه گردید. با توجه به نتایج آزمون شیمیایی خاک، مقادیر مورد نیاز کود (اوره و فسفره) به خاک اضافه گردید. از آن‌جایی‌که کود نیتروژنه (اوره) جزو تیمارهای کودی بود، میزان مورد نیاز آن بر پایه تیمارهای کودی یاد شده، برای هر کرت محاسبه و در دو نوبت (موقع کاشت و ۶-۵ برگی) به واحدهای آزمایش داده شد.

بی‌درنگ پس از کاشت، آبیاری (بارانی) به گونه‌ای یکنواخت انجام شد. آبیاری یکنواخت واحدهای آزمایشی تا مرحله‌ی ۱۲-۸ برگی ادامه یافت (آلیاری و همکاران، ۱۳۷۹). سپس تیمارهای تنش رطوبتی بر پایه میزان رطوبت خاک به کار رفت.

به هنگام برداشت (اواخر شهریور)، نمونه‌برداری‌ها فقط از سه ردیف وسطی (البته با احتساب حذف ۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر ردیف) روی ۱۰ بوته، صورت گرفت. میزان پروتیین و درصد روغن موجود در بذر با استفاده از دستگاه اینفراماتیک (Inframatic 8620)، اندازه‌گیری گردید. این دستگاه مقدار مواد را از طریق طیف نوری جذب شده توسط آن‌ها، اندازه‌گیری می‌کند.

ترکیب اسیدهای چرب نیز به کمک کروماتوگرافی گازی (GC) تعیین شد (متکالف و همکاران، ۱۹۶۶). شرایط و نوع ستون دستگاه کروماتوگراف گازی جهت آزمایش شامل: ستون BPX70 دارای ابعاد (0.25mm× 30m) و گاز ناقل آن هلیوم و نوع دتکتور آن FID با دمای ۳۵۰ و دمای تزریق ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد بود. تجزیه و تحلیل‌های آماری مورد نیاز با نرم‌افزار SAS انجام گرفت و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده گردید (اس. آ. اس، ۱۹۹۷).

1. *Azotobacter choroccocum*
2. *Azospirillum lipoferum*
3. *Azospirillum brasilense*

نتایج و بحث

نتایج این پژوهش در جدول‌های ۳، ۴ و ۵ و شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. داده‌های مربوط به اثر عوامل آزمایشی بر میزان پروتیین و روغن در بذر آفتابگردان در جدول ۳ نشان داده شده است.

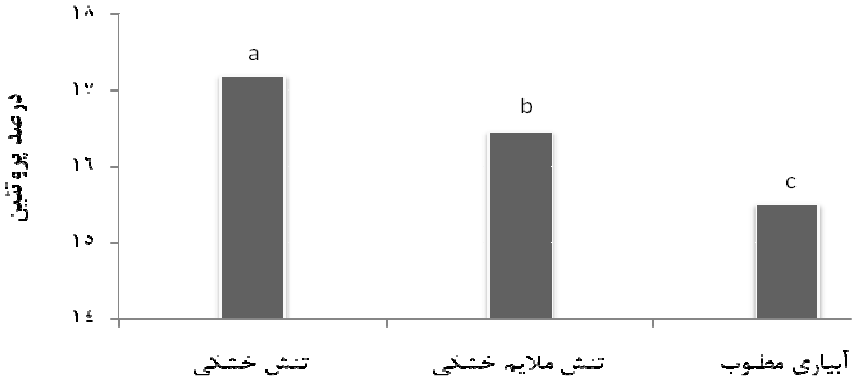
اثر تنش کم آبی بر درصد پروتیین معنی‌دار شد (جدول ۳)، به گونه‌ای که تنش خشکی (I_3) سبب افزایش ۱/۷ درصدی میزان پروتیین شد (شکل۱). بیش-تر بودن درصد پروتیین در شرایط تنش رطوبتی می‌تواند با کاهش طول دوره‌ی رشد و نمو مرتبط باشد که سبب کاهش نسبت روغن به پروتیین و در نتیجه افزایش درصد پروتیین می‌شود (آلیاری و همکاران، ۱۳۷۹). اثر تیمار کودی بر درصد پروتیین معنی‌دار بود (جدول ۳).

شکل ۲ نشان دهنده‌ی اثر تیمارهای کودی بر درصد پروتیین بذر آفتابگردان می‌باشد، نتایج نشان داد که کودهای زیستی در تلفیق با کود اوره (تیمار AA_{100}) سبب افزایش درصد پروتیین به مقدار چشم‌گیری (۳/۲۳ درصد) نسبت به تیمار شاهد گردید (شکل ۲). با توجه به شکل ۲ و مقایسه تیمار کودی AA_{50} و N می‌توان چنین استنباط کرد که کاربرد کودهای زیستی در ارتباط با درصد پروتیین سبب بیش از ۵۰ درصد صرفه-جویی در مصرف کود شیمیایی اوره گردید که احتمالاً به علت نقش انکار ناپذیر تثبیت نیتروژن توسط کودهای زیستی می‌باشد (لوسی و همکاران، ۲۰۰۴).

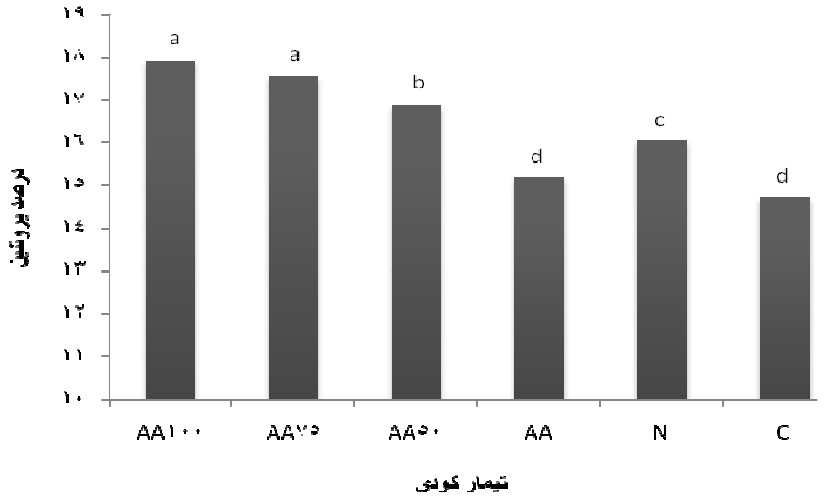
جدول۳: نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل آزمایشی بر میزان پروتیین و روغن در دانه آفتابگردان

عوامل آزمایشی	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		پروتیین	روغن
بلوک	۲	۰/۳۴۷ ns	۰/۴۰۵ ns
تنش کم‌آبی	۲	۱۳/۰۷۱ *	۲۶/۰۶ **
خطای a	۴	۰/۹۶۷	۰/۱۲۷
تیمار کودی	۵	۱۵/۰۹۹ **	۸/۵۳۵ **
تنش کم‌آبی×کود	۱۰	۰/۴۳۲ ns	۲/۳۱۴ **
خطای b	۳۰	۰/۴۶۵	۰/۷۲۳

ns: غیر معنی‌دار، **، *: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح آماری ۱و ۵ درصد



شکل۱: اثر تنش کم‌آبی بر درصد پروتیین بذر آفتابگردان



شکل۲: اثر تیمارهای کودی بر درصد پروتیین بذر آفتابگردان

کودهای زیستی در تلفیق با کود اوره درصد پروتیین را در بذرهای آفتابگردان افزایش دادند. یکی از نقش‌های مهم نیتروژن در گیاهان، مشارکت در تولید پروتیین‌هاست. در واقع آسیمیلاسیون نیتروژن آمونیاکی و تبدیل آن به ترکیبات کربنی در نهایت منجر به تولید گلوتامات در گیاه می‌شود و نیز در جریان ساخته شدن گلوتامات از نیتروژن، نیتروژن از طریق واکنش‌های جابجایی گروه آمین در ساختمان صدها اسید آمینه شرکت می‌کند و اسیدهای آمینه می‌توانند از طریق زنجیره‌ی پپتیدی با یکدیگر پیوند حاصل کرده و پروتیین‌های مختلف را بسازند (کافی و همکاران، ۱۳۷۹). لذا دور از انتظار نیست که میزان پروتیین در تیمارهای کاربرد توام کودهای زیستی با نیتروژن بیش‌تر از سایر تیمارهای کودی باشد زیرا کودهای زیستی علاوه بر فراهم نمودن شرایط مناسب رشد و نمو برای گیاهان، تثبیت زیستی نیتروژن را نیز انجام می‌دهند که منجر به افزایش توان گیاه در آسمیلاسیون نیتروژن می‌گردد.

نتایج نشان داد که اثر متقابل عوامل آزمایشی بر درصد روغن معنی‌دار بود (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار (۴۹) و کم‌ترین میزان (۴۴) درصد روغن به‌ترتیب در تیمارهای I_1AA_{100} و I_3C به دست آمد (جدول ۴). نتایج مشابهی نیز با کاربرد تیمارهای تنش خشکی بر میزان روغن آفتابگردان (مکی و همکاران، ۱۹۹۹) و بادام زمینی (دویودی و همکاران، ۱۹۹۶) گزارش شده است. کاهش درصد روغن در اثر تنش خشکی می‌تواند به علت اختلال در فرآیندهای متابولیکی بذر و آسیب به انتقال آسیمیلات‌ها به دانه باشد (بوچیراو و همکاران، ۱۹۹۶). در واقع تنش رطوبتی به‌ویژه در هنگام رسیدگی، درصد روغن را کاهش داده ولی درصد پروتیین را افزایش می‌دهد که این حالت به دلیل تسریع در رسیدگی گیاه می‌باشد. در این حالت فرصت کافی برای سنتز روغن از پروتیین‌های ذخیره شده در دانه وجود نداشته و بنابراین درصد روغن کاهش خواهد یافت (آلیاری و همکاران، ۱۳۷۹).

بیش‌ترین میزان اسید پالمتیک (۹/۴۵ درصد) و اسید استئاریک (۴/۵۹ درصد) در تیمار I_3C به دست آمد ولی کم‌ترین میزان اسید پالمتیک (۶/۲۲ درصد) و اسید استئاریک (۲/۲۳ درصد) در تیمار I_1AA به دست آمد (جدول۴). تیمارهای I_1AA_{50} و I_1AA به ترتیب اسید اولئیک (۲۹/۶۴ درصد) و اسید لینولئیک (۶۴/۷۳ درصد) را به اندازه چشم‌گیری افزایش دادند. در حالی‌که میزان اسید اولئیک (۲۴/۸۸ درصد) و اسید لینولئیک (۵۹/۷۴ درصد) به‌ترتیب در تیمارهای I_3AA_{100} و I_3AA_{75} کم‌ترین بود (جدول ۴).

جدول۴: مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش کم‌آبی و تیمار کودی بر صفات مورد بررسی در بذر آفتابگردان

تیمارهای آزمایشی		درصد روغن کل	اسید پالمتیک (٪)	اسید استئاریک (٪)	اسید اولئیک (٪)	اسید لینولئیک (٪)
I_1	AA	۴۸/۷۶^{ab}*	۶/۲۲^{e}	۲/۲۳^{h}	۲۶/۷۳^{de}	۶۴/۷۳^{a}
	AA_{100}	۴۹/۰۰^{a}	۶/۲۹^{e}	۲/۳۸^{gh}	۲۹/۰۸^{ab}	۶۲/۱۸^{cdef}
	AA_{75}	۴۸/۴۰^{abc}	۶/۳۸^{e}	۲/۲۵^{h}	۲۹/۴۸^{a}	۶۱/۷۰^{defg}
	AA_{50}	۴۸/۴۶^{abc}	۶/۸۰^{d}	۲/۳۷^{gh}	۲۹/۶۴^{a}	۶۰/۹۴^{fgh}
	N	۴۸/۰۰^{abcd}	۶/۳۶^{e}	۲/۵۴^{fgh}	۲۸/۰۷^{bc}	۶۲/۹۸^{cd}
	C	۴۷/۱۶^{bcde}	۸/۵۲^{b}	۲/۴۹^{gh}	۲۶/۹۵^{de}	۶۲/۰۲^{efgh}
I_2	AA	۴۷/۹۳^{abcd}	۷/۳۹^{c}	۲/۶۵^{fg}	۲۶/۴۲^{de}	۶۳/۴۲^{bc}
	AA_{100}	۴۶/۳۰^{ef}	۸/۱۱^{b}	۳/۳۲^{cde}	۲۸/۴۰^{ab}	۶۰/۰۳^{h}
	AA_{75}	۴۷/۲۶^{bcde}	۷/۹۶^{b}	۳/۱۰^{e}	۲۸/۵۹^{ab}	۶۰/۲۵^{gh}
	AA_{50}	۴۶/۶۶^{def}	۷/۹۰^{b}	۳/۲۴^{de}	۲۸/۹۷^{ab}	۵۹/۸۴^{h}
	N	۴۵/۱۶^{fg}	۷/۷۹^{b}	۲/۷۳^{f}	۲۷/۲۷^{cd}	۶۲/۱۳^{cdef}
	C	۴۵/۹۶^{ef}	۸/۸۴^{a}	۳/۰۹^{e}	۲۶/۳۶^{de}	۶۱/۵۶^{efgh}
I_3	AA	۴۷/۹۳^{abcd}	۹/۴۴^{a}	۳/۷۰^{b}	۲۶/۴۷^{de}	۶۰/۳۱^{gh}
	AA_{100}	۴۵/۹۳^{ef}	۹/۴۱^{a}	۴/۵۵^{a}	۲۴/۸۸^{f}	۶۱/۱۲^{efgh}
	AA_{75}	۴۷/۳۰^{bcde}	۹/۲۶^{a}	۳/۸۲^{b}	۲۷/۰۶^{cd}	۵۹/۷۴^{h}
	AA_{50}	۴۶/۹۶^{cde}	۹/۲۰^{a}	۳/۵۳^{bcd}	۲۶/۶۹^{de}	۶۰/۴۶^{gh}
	N	۴۴/۸۳^{g}	۹/۱۹^{a}	۳/۳۰^{cde}	۲۷/۰۵^{cd}	۶۰/۴۰^{gh}
	C	۴۴/۰۰^{g}	۹/۴۵^{a}	۴/۵۹^{a}	۲۵/۵۵^{ef}	۶۰/۳۳^{gh}

*: اعدادی که در هر ستون با حروف مشترک نشان داده شده‌اند، تفاوت چشم‌گیری با یکدیگر ندارند ($P<0.05$).

در واقع تنش خشکی همانند دمای محیط بر ترکیب اسیدهای چرب روغن اثر می‌گذارد به گونه‌ای که با افزایش تنش خشکی، درصد اسیدهای چرب اشباع (پالمتیک و استئاریک) افزایش یافته ولی درصد اسیدهای چرب غیراشباع کاهش یافت. چنین روندی نیز در مورد سویا پیش‌تر گزارش شده بود (یونس و همکاران، ۲۰۰۱). سنتز اسیدهای چرب در دانه‌های روغنی تحت تاثیر فعالیت‌های آنزیمی می‌باشد که حساسیت بالایی به شرایط محیطی به خصوص دما دارند (سارمینتو و همکاران، ۱۹۹۸). تنش خشکی سبب کاهش درصد اسیدهای چرب غیراشباع نسبت به اشباع گردید که احتمالاً به علت تاثیر تنش کم‌آبی بر دمای گیاهان و میکروکلیمای مزرعه باشد. در واقع در شرایط کمبود آب دمای میکروکلیمای گیاهان افزایش می‌یابد (پرویت و همکاران، ۱۹۸۴). احتمالاً در این آزمایش، افزایش دمای بافت‌های گیاهی در شرایط تنش خشکی، سبب کاهش فعالیت آنزیمی و در نتیجه کاهش میزان اسیدهای چرب غیراشباع در شرایط تنش شده است. نتایج پژوهش‌های دیگر در مورد اثر خشکی بر ترکیب اسیدهای چرب گیاهان تا حدودی متفاوت می‌باشد به‌طوری‌که در یک آزمایش، تفاوت‌های اندکی در ترکیب اسیدهای چرب در نتیجه‌ی تنش خشکی گزارش شد (آنگر، ۱۹۸۲). اما در پژوهش دیگری گزارش شد که رابطه‌ی مثبتی بین میزان اسیدهای چرب غیراشباع و شرایط مطلوب آبیاری وجود دارد (طلحه و عثمان، ۱۹۷۴). این نتایج متفاوت احتمالاً به دلیل شرایط مختلف محیطی باشد که آزمایش در آن‌ها انجام شده است. وجود اسیدهای چرب غیراشباع (اسید اولئیک و لینولئیک) از نظر مصرف تغذیه‌ای روغن بسیار با اهمیت است زیرا بالا بودن آن‌ها در روغن آفتابگردان سبب افزایش پایداری اکسیداسیونی می‌گردد که در نتیجه منجر به افزایش مقاومت روغن در هنگام سوختن

می‌شود (فولر و همکاران، ۱۹۶۷). بنابراین دیده می‌شود که تنش خشکی غیر از پیامدهای مخربی که بر درصد روغن دارد، کیفیت روغن را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. با بررسی روند تغییرات میانگین تیمارهای مایه‌زنی باکتریایی آشکار می‌شود که کاربرد کودهای زیستی (ازوتوباکتر و آزوسپیریلوم) همراه با کود اوره به گونه‌ای معنی‌دار درصد روغن و اسید اولئیک را افزایش داد. در واقع تلفیق کودهای زیستی با اوره تا حدودی سبب کاهش اثرات زیان‌بار تنش خشکی بر کیفیت روغن و درصد روغن بذر آفتابگردان گردید. می‌توان چنین نتیجه گرفت که مایه‌زنی باکتریایی بذرها، روابط مثبت بین گیاه آفتابگردان و باکتری‌ها را تقویت کرده که منجر به افزایش عملکرد کیفی در آفتابگردان می‌گردد.

بررسی ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد بررسی مشخص نمود که بین درصد پروتیین و اسیدهای چرب اشباع (اسید پالمتیک و استئاریک) همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت در حالی‌که بین اسید لینولئیک و درصد پروتیین همبستگی منفی حاکم بود (جدول۵). با توجه به این که کیفیت روغن بستگی به نوع و مقدار اسیدهای چرب غیراشباع دارد و نیز با استناد به نتایج به دست آمده در ارتباط با هبستگی منفی پروتیین با اسید لینولئیک، می‌توان نتیجه گرفت که علاوه بر وجود رابطه‌ی منفی بین پروتیین و روغن که در برخی منابع ذکر شده است (آلیاری و همکاران، ۱۳۷۹)، بین میزان پروتیین و کیفیت روغن نیز هبستگی منفی و معنی‌داری وجود دارد.

بین اسیدهای چرب همبستگی منفی و معنی‌داری وجود داشت (جدول۵). وجود همبستگی منفی بین اسیدهای چرب روغن آفتابگردان، احتمالاً به این دلیل می‌باشد که اسیدهای چرب از اجزای تشکیل دهنده‌ی روغن می‌باشند از این رو وجود رقابت و همبستگی منفی بین آن‌ها طبیعی به نظر می‌رسد.

روی‌هم‌رفته می‌توان گفت که با افزایش درصد روغن، میزان اسیدهای چرب غیراشباع افزایش می‌یابد و کیفیت تغذیه‌ای روغن نیز بالا می‌رود که این حالت در شرایط عدم تنش رطوبتی و کاربرد کودهای زیستی به دست آمد.

بررسی پژوهش‌گران نشان داده است که کودهای زیستی سبب بهبود رشد، افزایش جذب عناصر غذایی و افزایش مقاومت به خشکی در گیاهان می‌شوند (لوسی و همکاران، ۲۰۰۴ و بانو، ۲۰۰۶). با توجه به سودمندی‌های ذکر شده در ارتباط با کودهای زیستی می‌توان چنین فرض نمود که کودهای زیستی احتمالاً مقدار نیتروژن در دسترس گیاه را افزایش داده و نیز با فراهم آوردن شرایط مناسب رشدی، زمینه افزایش عملکرد کیفی را در آفتابگردان فراهم آورده‌اند. به‌طور خلاصه، تنش خشکی میزان پروتیین را افزایش داد اما درصد روغن را کاهش داد. تلفیق کودهای زیستی با اوره در شرایط مطلوب آبیاری منجر به افزایش روغن و اسیدهای چرب غیر اشباع و کاهش اسیدهای چرب اشباع گردید. با توجه به نتایج این پژوهش، کاربرد کودهای زیستی ازتوباکتر و آزوسپیریلوم می‌تواند در افزایش عملکرد کیفی آفتابگردان و کاهش پیامدهای زیان‌بار خشکی موثر باشد. لذا پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های بعدی از دیگر کودهای زیستی نظیر سودوموناس نیز در ترکیب کودی استفاده شود.

جدول۵: ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد بررسی بذر آفتابگردان تحت تنش کم آبی

صفات مورد بررسی	پروتیین	روغن	اسید پالمتیک	اسید استئاریک	اسید اولئیک
روغن	۰/۱۸^{ns}-				
اسید پالمتیک	۰/۴۹**	۰/۵۸**-			
اسید استئاریک	۰/۵۳**	۰/۴۴**-	۰/۸۷**		
اسید اولئیک	۰/۱۹^{ns}	۰/۳۴*	۰/۳۶**-	۰/۳۶**-	
اسید لینولئیک	۰/۶۵**-	۰/۲۳^{ns}	۰/۶۲**-	۰/۵۸**-	۰/۴۸**-

ns: غیرمعنی‌دار، **، *: به ترتیب معنی‌دار در سطوح آماری ۱و ۵ درصد

منابع

آلیاری، ه. و شکاری، ف. ۱۳۷۹. دانه‌های روغنی (زراعت و فیزیولوژی). انتشارات عمیدی. تبریز. ۱۸۲ ص.

کافی، م.، لاهوتی، م.، زند، ا.، شریفی، ح. و گلدانی، م. ۱۳۷۹. فیزیولوژی گیاهی. جلد دوم. (تالیف ادواردو تایز و زایگر) چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۳۷۹ ص.

علیزاده، ا. ۱۳۸۱. آبیاری عمومی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۳۶۸ ص.

Abbass, Z., and Okon, Y. 1993. Plant growth promotion by *Azotobacter paspali* in the rhizosphere. Soil Biol. Biochem. 25: 1075-1083.

Bano, A. 2006. Altitudinal variation in *Azospirillum* species collected from the rhizosphere and roots of *Zea mays* (L.). Asian J. Plant. Sci. 5(6):1051-1053.

Bashan, Y. and Holguin. G. 1997. Azospirillum-plant relationships: environmental and physiological advances. Can. J. Microbiol. 43: 103-121.

Bouchereau, A., Clossais, B. N., Bensaoud, A., Beport, L. and Renard, M. 1996. Water stress effects on rapeseed quality. Eur. J. Agron. 5: 19-30.

Dwivedi, S. L., Nigam, S. N., Rao, R. C. N., Singh, U. and Rao, K. V. S. 1996. Effect of drought on oil, fatty acids and protein contents of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) seeds. Field Crop Res. 48: 125- 133.

Fages, J., and Arsac, J. F. 1991. Sunflower inoculation with *Azospirillum* and other plant growth promoting rhizobacteria. Plant Soil. 137: 87-90.

Fuller, M., Diamond, J., Applewhite, T. 1967. High oleic sunflower oil. Stability and chemical modification. J. Am. Oil. Chem. Soc. 44: 264-267.

Hedge, D. M., Dwivedi, B. S. and Babu, S. N. S. 1999. Biofertilizers for cereal production in India-A review. Ind. J. Agric. Sci. 69: 73-78.

Idris, M. 2003 . Effect of integrated use of mineral, organic N and *Azotobacter* on yield, yield components and N-nutrition of wheat (*Triticum aestivum, L.*). P. J. B. S. 6: 539-543.

Itzigsohn, R., Abbass, Z., Sarig, S., and Okon, Y. 1995. Inoculation effects of *Azospirillum* on sunflowers (*Helianthus annus*) under different fertilization and irrigation regimes. NATO. ASI. Ser. G. 37: 503-513.

Lucy, M., Reed, E. and Bernard, R. Glick. 2004. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie van Leeuwenhoek.* 86: 1-25.

Mekki, B. B., EL-Kholy, M. A. and Mohamed, E. M. 1999. Yield, oil and fatty acids contents as affected by water deficit and potassium fertilization in two sunflower cultivars. Egypt. J. Agron. 21: 67-85.

Metcalf, L. C., Schmitz, A. A. and Pelka, J. R. 1966. Rapid preparation of methyl esters from lipid for gas chromatography analysis. Analyt. Chem. 38: 514-515.

Pruitt, W. O. Fereres, E. Martin, P. E. Singh, H. Henderson, D. W. Hagan, R. M. Tarantino, E. and Chandio, B. 1984. Microclimate, evapotranspiration, and water-use efficiency for drip and furrow-irrigated tomatoes. Proceedings 12th Congress, International Commission on Irrigation and Drainage, Ft. Collins, CO. p. 367-394.

Sarmiento, C. Garces, F. and Mancha, M. 1998. Oleate desaturation and acyl turnover in sunflower (*Helianthus annuus* L.) seed lipids during rapid temperature adaptation. Planta 205: 595-600.

SAS Institute Inc. 1997. SAS user's guide. SAS Inc: Cary, NC.

Singh, R., Sood, B. K., Sharma, V. K. and Singh, R. 1993. Response of forage maize (*Zea mays* L.) to *Azotobacter* inoculation and nitrogen. Ind. J. Agron. 38 (4): 555-558.

Somasegaran, P. and Hoben, H. J. 1994. Hand book for Rhizobia: Methods in Legume-Rhizobium Technology. NY: Springer-Verlag, U.S.A. 450pp.

Sosulski, F. W. 1979. Food uses of sunflower proteins. J. Am. Oil. Chem. Soc. 56: 438-442.

Sturz, A. V. and Nowak, J. 2000. Endophytic communities of rhizobacteria and the strategies required to create yield enhancing associations with crops. Appl. Soil. Ecol. 15: 183-190.

Subba Rao, N. S., and Dommergues, Y. R. 1998. Microbial Interactions in Agriculture and Forestry, Science Publishers, Inc, U.S.A. 278 pp.

Talha, M. and Osman, F. 1974. Effect of soil water stress on water economy and oil composition in sunflower (*Helianthus annuus* L.). J. Agric. Sci. Cambridge. 84: 49-56.

Unger, P. W. 1982. Time and frequency of irrigation effects on sunflower production and water use. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 1072-1076.

Younis, M. E., Gaber, A. M. and El-Nimr, M. 2001. Plant growth, metabolism and adaptation of *Glycine max* and *Phaseolus vulgaris* subjected to anaerobic conditions and drought. Egypt. J. Physiol. Sci. 23: 273-296.

Response of Sunflower Seed Quality Characteristics to Plant Growth Promoting Rhizobacteria under Water Stress

Jalilian[1], J., Modarres Sanavy[2], S. A. M., Asgharzadeh[3], A. and Farshadfar[4], M.

Abstract

In order to study the quality of sunflower in response to PGPR and different levels of urea under water stress condition, an experiment was conducted during 2006 growing season at the Eslam Abad-Gharb Agricultural Research Station, Kermanshah province, Iran. The experimental design was split-plot laid out in RCB with three replications. The main plots were three levels of irrigation [irrigation at 85% field capacity (I_1), irrigation at 70% field capacity (I_2) and irrigation at 55% field capacity (I_3)] and sub plots were six levels of fertilizer [control (C), recommended rate of N (125 kg urea/ha) (N), inoculation with *Azotobacter chroccocum&Azospirillum lipoferum* (AA), AA+100% recommended rate of N (AA_{100}), AA+75% recommended rate of N (AA_{75}) and AA+50% recommended rate of N (AA_{50}))]. Water stress significantly affected protein percentage but fertilizer treatment had high significant effect on this trait. The I_3 and AA_{100} treatments significantly increase of protein percentage. The highest and lowest oil percentages were obtained from I_1AA_{100} and I_3C treatments, respectively. Combination treatments of I_3C increased palmitic and stearic acid in seeds. The lowest percentage of palmitic and stearic were obtained from I_1AA treatment. The I_1AA_{50} and I_1AA treatments significantly increased oleic and linoleic acid respectively, whereas these fatty acids decreased in I_3AA_{100} and I_3AA_{75} treatments, respectively. Overall, drought stress significantly decreased oil percentage, oleic and linoleic acids but increased palmitic and stearic acids in the seeds. Application of biofertilizers with urea significantly increased the oil, protein and unsaturated fatty acids in sunflower seeds. Because of the low price and positive effect of biofertilizers on sunflower seed quality, utilization of these fertilizers are therefore highly recommended in sunflower culture.

Keywords: Sunflower, Biofertilizer, *Azotobacter*, *Azospirillum*, Nitrogen, Fatty acid

1. PhD student, Agronomy Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University, Tehran
2. Professor, Agronomy Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University, Tehran
3. Assistant Professor, Soil Water Research Institute, Tehran
4. Assistant Professor, Animal Affairs and Natural Researches Center, Kermanshah

---