Archive of SID

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۴۶، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۴ (ص ۳۲۶-۳۱۵)

بررسی عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک ذرت و سورگوم در دو شرایط آبیاری و کاربرد پسماندهای جو، زئولیت و پلیمر سوپرجاذب

حمید نجفی‌نژاد[۱]، زین‌العابدین طهماسبی سروستانی[۲*] و سیدعلی‌محمد مدرس ثانوی[۳]
۱، ۲ و ۳. دانشجوی دکتری، دانشیار و استاد گروه زراعت، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۱۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۲/۲۸)

چکیده

به‌منظور بررسی عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک ذرت و سورگوم در شرایط تنش خشکی و کاربرد پسماندهای (بقایای) جو، زئولیت و پلیمر سوپرجاذب آزمایشی به‌صورت فاکتوریل اسپلیت در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در شرایط کمترین خاک‌ورزی به‌مدت دو سال (۱۳۹۱-۱۳۹۲) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی جوپار در کرمان انجام شد. شرایط (رژیم) آبیاری در دو سطح شامل آبیاری معمول (نرمال) و تنش خشکی (به‌ترتیب آبیاری براساس ۷۰ و ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از طشت تبخیر کلاس A) و تیمارهای نوع گیاه شامل ذرت و سورگوم به صورت فاکتوریل و به‌عنوان عامل اصلی در نظر گرفته شدند. تیمارهای ترکیبی پسماندهای جو، زئولیت و پلیمر سوپرجاذب در پنج سطح به‌عنوان عامل فرعی به‌شرح زیر بودند: الف) ۴/۵ تن پسماندها +۱۰ تن زئولیت در هکتار (ZR)، ب) ۴/۵ تن پسماندها + ۶۰ کیلوگرم پلیمر سوپرجاذب در هکتار (SR)، ج) ۴/۵ تن پسماندها + ۵ تن زئولیت +۳۰ کیلوگرم سوپرجاذب در هکتار (ZSR)، د) ۴/۵ تن پسماندها در هکتار (R)، ه) شاهد (C). براساس نتایج به‌دست‌آمده تنش خشکی در هر دو گیاه عملکرد علوفه و عملکرد کوانتومی نظام‌نوری (فتوسیستمII) را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. میزان علوفهٔ تر ذرت و سورگوم (چین اول) به‌ترتیب ۶۲/۸ و ۴۹/۳ تن در هکتار بود که برتری ذرت در نود روز اول فصل رشد را نشان داد. تیمار کاربرد ۱۰ تن زئولیت به‌همراه پسماندها بیشترین عملکرد علوفه و تیمار شاهد کمترین عملکرد علوفه، عملکرد کوانتومی نظام‌نوری و محتوای رطوبت خاک را داشت. در اغلب صفات مورد بررسی تفاوتی بین تیمار کاربرد پسماندها به‌تنهایی با تیمارهای ترکیبی پسماندها با زئولیت و پلیمر سوپرجاذب وجود نداشت. براساس نتایج این بررسی برای کشت دوم منطقهٔ معتدل در شرایط کمترین خاک‌ورزی، کشت ذرت و همچنین کاربرد ۱۰ تن زئولیت و ۴/۵ تن پسماندها در هکتار توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: **پسماندها، پلیمر سوپرجاذب، درخشندگی سبزینه، زئولیت، ذرت، سورگوم، عملکرد.**

مقدمه

در سال‌های اخیر، منابع آب قابل استفاده برای تولید موفقیت‌آمیز محصولات کشاورزی کاهش یافته و بحران کم‌آبی همراه با افزایش دمای کرهٔ زمین و کاهش بارندگی ناشی از پدیدهٔ تغییر اقلیم تشدید شده است (Shao *et al.*, 2009). تنش خشکی ناشی از کم‌آبی،

* تلفن: ۰۹۱۳۱۹۸۵۲۳۱-۰۹۱۲۲۱۸۵۸۶۴
E-mail: tahmaseb@modares.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مهم‌ترین تنش محیطی است که رشد و تولید گیاه را به بیش از هر تنش دیگری کاهش می‌دهد. خشکی با تغییر در مؤلفه‌های پرتوافشانی یا درخشندگی سبزینه (فلورسانس کلروفیل)، میزان رنگ‌دانه‌ها، روابط آب یاخته و اختلال در فرایند نورساخت (فتوسنتز) در نهایت رشد و عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد (Paknejad *et al.*, 2007). بنابراین برای اعمال مدیریت بهینهٔ بهره‌وری از قابلیت و ظرفیت (پتانسیل) گیاه، شناخت تغییرات فیزیولوژیک و واکنش‌های بیوشیمیایی تحت تنش خشکی ضروری است (Anjum *et al.*, 2011). در آزمایشی بر روی گندم کاهش محتوای سبزینه، درخشندگی بیشینه (F_m)، درخشندگی متغیر (F_v)، عملکرد کوانتومی نظام‌نوری (F_v/F_m) و عدم تغییر درخشندگی اولیه (F_0) تحت تنش خشکی گزارش شده‌است (Paknejad *et al.*, 2007). در کشاورزی مناطق خشک و نیمه‌خشک موادی مانند زئولیت، پلیمر سوپرجاذب و پسماندهای گیاه می‌توانند با افزایش ظرفیت جذب و نگهداری رطوبت و عناصر غذایی در خاک و آزادسازی متناسب با نیاز گیاه از آسیب وارده به دستگاه نورساختی در شرایط تنش جلوگیری کنند (Wicks *et al.*,1994; Polat *et al.*, 2004; Mao *et al.*, 2011). در بررسی‌های انجام‌گرفته در زمینهٔ تأثیر استفاده از پسماندهای گیاه در سطح خاک، افزایش عملکرد و کاهش اثرگذاری‌های تنش خشکی بیشتر به‌واسطهٔ نگهداری رطوبت و کاهش تبخیر از خاک بیان شده‌است (Wicks *et al.*, 1994). زئولیت‌ها بیش از ۶۰درصد وزن خود آب جذب می‌کنند و به‌واسطهٔ روزنه‌های زیاد، توانایی جذب و نگهداری طولانی‌مدت آب و عناصر غذایی برای دوره‌های خشکی را داشته و به‌آسانی متناسب با نیاز گیاه، آب و عناصر غذایی جذب‌شده را در اختیار گیاه قرار می‌دهند (Polat *et al.*, 2004). در پژوهشی کاربرد ۵ تن در هکتار زئولیت در شرایط تنش کم‌آبی، منجر به بهبود رشد گلرنگ و افزایش عملکرد کوانتومی نظام‌نوری شده است (Mahdavi *et al.*, 2011). کاربرد سوپرجاذب در کشاورزی می‌تواند نقش مؤثری در افزایش ظرفیت نگهداری و جذب رطوبت خاک و کاهش اثرگذاری‌های نامطلوب تنش خشکی داشته باشد (Nazari *et al.*, 2010). در بررسی محتوی نسبی آب و شاخص سبزینهٔ برگ (SPAD) ذرت با کاربرد ۶۰ کیلوگرم پلیمر سوپرجاذب در هکتار افزایش یافته‌است (Mao *et al.*, 2011). در تحقیقی بر روی سورگوم علوفه‌ای تنش خشکی شاخص سبزینهٔ برگ را کاهش داده‌است، اما کاربرد ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار پلیمر سوپرجاذب در شرایط تنش شاخص سبزینهٔ برگ و مادهٔ خشک سورگوم را افزایش داده است (Fazeli Rostampour *et al.*, 2012). ذرت و سورگوم به‌عنوان گیاهان دومنظوره (علوفه‌ای و دانه‌ای) به دلیل عملکرد بالا و سازگاری به شرایط اقلیمی ایران، نقش بسیار مهمی در تأمین علوفهٔ مورد نیاز کشور ایفا می‌کنند. اما کم‌آبی، مهم‌ترین عامل محدودکنندهٔ تولید و توسعهٔ کشت این گیاهان است (Khalesro *et al.*, 2010; Fazeli Rostampour *et al.*, 2012). از این‌رو بررسی تغییرات فیزیولوژیک گیاه در واکنش به تنش خشکی و کاربرد مواد افزودنی به خاک برای تعدیل اثرگذاری‌های تنش خشکی بسیار بااهمیت است. گزارش شده‌است به دلیل رابطهٔ نزدیکی که بین محتوی سبزینهٔ گیاه و مؤلفه‌های درخشندگی سبزینه با تثبیت و تبادل دی‌اکسیدکربن در گیاه وجوددارد، این مشخصه (پارامتر)ها می‌توانند برآورد خوبی از تأثیر تنش‌های محیطی روی رشد گیاه باشند (Araus *et al.*, 1998). لذا برای ارزیابی اثرگذاری‌های تنش خشکی و مواد افزودنی به خاک در شرایط کم‌آبی، اندازه‌گیری سبزینه و مؤلفه‌های درخشندگی سبزینه می‌تواند برآورد مناسبی از وضعیت رشد گیاه را ارائه دهد. با توجه به موارد بالا، هدف این تحقیق بررسی عملکرد و تغییرات مشخصه‌های درخشندگی سبزینه و سبزینهٔ برگ دو گیاه ذرت و سورگوم تحت تنش خشکی و کاربرد پسماندهای جو، زئولیت و پلیمر سوپرجاذب و همچنین مقایسهٔ دو گیاه با یکدیگر در کشت دوم منطقهٔ معتدل و در شرایط کمینهٔ خاک‌ورزی بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق طی دو سال (۱۳۹۱-۱۳۹۲) در ایستگاه تحقیقاتی جوپار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمان با مختصات جغرافیایی ۵۷ درجه و ۱۴

www.SID.ir

Archive of SID

دقیقهٔ طول شرقی و ۳۱ درجه و ۷ دقیقهٔ عرض شمالی و ارتفاع ۱۷۴۹ متری از سطح دریا انجام شد. آزمایش در هر دو سال در یک قطعه زمین ثابت به صورت فاکتوریل اسپیلت در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در شرایط کشت دوم منطقهٔ معتدل اجرا شد. شرایط آبیاری در دو سطح شامل تیمار آبیاری معمول و تنش خشکی به‌ترتیب آبیاری براساس ۷۰ و ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از طشت تبخیر کلاس A و تیمارهای نوع گیاه در دو سطح شامل ذرت و سورگوم به‌صورت فاکتوریل و به‌عنوان عامل اصلی در نظر گرفته شدند. تیمارهای ترکیبی پسماندهای جو، زئولیت و پلیمر سوپرجاذب در پنج سطح به‌عنوان عامل فرعی به شرح زیر بودند: الف) ۴/۵ تن پسماندهای جو +۱۰ تن زئولیت در هکتار (ZR)، ب) ۴/۵ تن پسماندهای جو+۶۰کیلوگرم پلیمر سوپرجاذب در هکتار (SR)، ج) ۴/۵ تن پسماندهای جو + ۵ تن زئولیت +۳۰ کیلوگرم سوپرجاذب در هکتار (ZSR)، د) ۴/۵ تن پسماندهای جو در هکتار (R)، هـ) تیمار شاهد، بدون کاربرد پسماندهای جو، زئولیت و سوپرجاذب (C). در این تحقیق، رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ ذرت و رقم پگاه سورگوم مورد استفاده قرارگرفت. تاریخ کاشت آزمایش در سال اول، ۱۱ خرداد و در سال دوم، ۱۲ خرداد بود. پلیمر سوپرجاذب مورد استفاده از نوع A200 ساخت شرکت نانوآب با پروانهٔ پژوهشکدهٔ شیمی و پلیمر ایران و زئولیت مورداستفاده تولید شرکت افرازند بود. نتایج تجزیهٔ فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش به‌همراه نتایج تجزیهٔ زئولیت و پلیمر سوپرجاذب در جدول ۱ ارائه شده‌است.

جدول ۱. نتایج تجزیهٔ فیزیکی و شیمیایی خاک (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر)، پلیمر سوپرجاذب و زئولیت

مشخصات خاک	نتایج تجزیهٔ خاک ۱۳۹۱	نتایج تجزیهٔ خاک ۱۳۹۲	پلیمر سوپرجاذب (A200)		زئولیت	
بافت خاک	لومی شنی	لومی شنی	شکل و رنگ	گرانول سفید شیری	SiO_2 (درصد)	۶۸
رطوبت در ظرفیت مزرعه F.C (درصد)	۱۹/۲	۱۹/۲	اندازه (mm)	۱-۵	Al_2O_3 (درصد)	۱۱/۵
رطوبت در نقطهٔ پژمردگی دائم P.W.P (درصد)	۷/۸	۷/۸	محتوی رطوبت (درصد)	۲-۳	K_2O (درصد)	۲/۹
وزن مخصوص ظاهری (g/cm^3)	۱/۴۱	۱/۴۱	تراکم (g/cm^3)	۱/۳-۱/۵	Na_2O (درصد)	۱/۷
کربن آلی (درصد)	۰/۴۸	۰/۵	pH	۶-۷	Ca_2O (درصد)	۲/۵
فسفر (mg/Kg)	۸	۹/۷	جذب آب درمحلول کلرید سدیم ۹درصد (g/g)	۴۵	P_2O_5 (درصد)	۰/۰۱۴
پتاسیم (mg/Kg)	۲۰۸	۲۲۴	میزان جذب آب مقطر (g/g)	۲۲۰	Fe (mg/Kg)	۱/۱۵
pH	۷/۹	۷/۹	زمان دوام در خاک (سال)	۷	Cd (mg/Kg)	۰/۰۳۱
هدایت الکتریکی (dS/m)	۱/۲	۱/۳	-	-	C.E.C(meq/100g)	۲۶۰

این آزمایش طی دو سال در شرایط کمینهٔ خاک‌ورزی بر روی بستر محصول سال پیش (جو) که به‌صورت دو ردیف در دو طرف جویچه‌های (فارو) ۷۰ سانتی‌متری کشت شده‌بود انجام گرفت. هر کرت فرعی دارای ۴ خط به فاصلهٔ ۷۰ سانتی‌متر از یکدیگر و به‌طول ۹ متر بود. پلیمر سوپرجاذب و زئولیت مورد نیاز برای هر تیمار، در کف شیاری به عمق ۱۸ سانتی‌متر که در وسط هر جویچه ایجاد شده بود پس از پخش یکنواخت با خاک پوشانده شد. براساس تحقیقات صورت‌گرفته دوام پلیمرهای سوپرجاذب در خاک به‌طور

www.SID.ir

Archive of SID

میانگین سه تا پنج سال است (Tolstikh *et al.*, 1992)، بنابراین با در نظر گرفتن ۳۳درصد تجزیه در سال اول، در سال دوم اجرای طرح معادل ۳۳درصد مصرف سال اول استفاده شد. میزان کود شیمیایی در سال اول ۱۸۴ کیلوگرم نیتروژن از منبع کود اوره، ۴۰ کیلو گرم P_2O_5 از منبع سوپرفسفات تریپل و ۵۵ کیلوگرم K_2O از منبع سولفات پتاسیم در هکتار و در سال دوم ۱۸۴ کیلوگرم نیتروژن و ۲۰ کیلوگرم فسفر در هکتار بود. پیش از کاشت آزمایش از علف‌کش گراماکسون به میزان ۴ لیتر در هکتار برای خشکاندن علف‌های هرز موجود استفاده شد. ذرت با تراکم ۱۰۲۰۴۰ بوته در هکتار (فاصله‌های ۷۰×۱۴ سانتی‌متر) و سورگوم با تراکم ۱۷۸۵۷۰ بوته در هکتار (فاصله‌های ۷۰×۸ سانتی‌متر) کشت شد. تنش رطوبتی هفده روز پس از کاشت (مرحلهٔ سه تا چهار برگی سورگوم و چهار تا پنج برگی ذرت) اعمال شد و برای تعیین زمان آبیاری از قرائت روزانه تبخیر از طشتک تبخیرکلاس A استفاده شد. اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک در عمق نفوذ ریشه و در زمان آبیاری با استفاده از دستگاه T.D.R (Time–Domain Reflectometry) مدل Trime-FM انجام شد و میزان آب مورد نیاز هر کرت در هر مرحلهٔ آبیاری براساس کسر رطوبت موجود خاک از ظرفیت زراعی در عمق نفوذ ریشه و براساس معادله‌های زیر محاسبه شد (Fotuhi *et al.*, 2008).

$$I_n= (\theta_{fc}-\theta_i) \times d,\ I_g = I_n/e,\ V = I_g \times A$$

θ_{fc}: رطوبت حجمی خاک در ظرفیت زراعی، θ_i: رطوبت حجمی خاک در زمان آبیاری، d: عمق توسعهٔ ریشه (میلی‌متر)، I_n: عمق خالص آب آبیاری (میلی‌متر)، e: بازده (راندمان) آبیاری (۷۵ درصد)، I_g: عمق ناخالص آب آبیاری(میلی‌متر)، A: مساحت کرت (مترمربع)، V: حجم آب مورد نیاز کرت (لیتر). عمق توسعهٔ ریشه برای هر گیاه با حفر نیم‌رخ (پروفیل) پیش از هر مرحلهٔ آبیاری تعیین شد. برای بررسی عمق توسعهٔ ریشه از ردیف‌های کنارهٔ کرت اصلی (دو ردیف در هر طرف کرت اصلی) استفاده شد. پس از محاسبهٔ حجم آب مورد نیاز هر کرت، با استفاده از کنتور حجمی ۲ اینچی تحت فشار که در مدخل ورود آب به کرت بر روی لوله‌های پلی‌اتیلنی ۳ اینچی نصب شده‌بود آب وارد کرت می‌شد. تعیین سبزینهٔ برگ در هر دو گیاه به‌طور همزمان، (مرحلهٔ ده برگی سورگوم و دوازده برگی ذرت) با استفاده از دستگاه سبزینه‌سنج (SPAD) مدل Minolta 502 بر روی بالاترین برگ توسعه‌یافتهٔ کامل و پیش از آبیاری انجام شد.

تعیین مؤلفه‌های درخشندگی سبزینه شامل درخشندگی اولیه (F_0)، درخشندگی بیشینه (F_m)، درخشندگی متغیر (F_v) و عملکرد کوانتومی نظام‌نوری (F_v/F_m) به‌طور همزمان برای هر دو گیاه (مرحلهٔ دوازده برگی سورگوم و مرحلهٔ شیری شدن دانهٔ ذرت) پیش از آبیاری بر روی چهار بوتهٔ تصادفی در هر کرت (برای ذرت برگ بلال و برای سورگوم چهارمین برگ توسعه‌یافتهٔ کامل از بالا) با استفاده از دستگاه تنش‌سنج (استرس‌متر) PSM مدل iomonitor S.C.I.AB, Umea, Sweden انجام‌شد. علوفهٔ سورگوم هشتادوشش روز (مرحله دوازده تا سیزده برگی با میانگین ارتفاع ۲۰۵ سانتی‌متر) و ذرت نود روز پس از کاشت (مرحله خمیری دانه) در سطحی معادل ۷ مترمربع برداشت شد و پس از توزین و اندازه‌گیری درصد رطوبت، عملکرد نهایی علوفه بر مبنای رطوبت ۷۹درصد محاسبه شد. برای تعیین درصد رطوبت و درصد مادهٔ خشک علوفه در زمان برداشت پنج بوتهٔ تصادفی از هر کرت بدون فاصله با دقت گرم توزین شد و پس از دو هفته خشک شدن، به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۶۵ درجهٔ سلسیوس قرار داده شد و پس از توزین با استفاده از فرمول زیر رطوبت علوفه محاسبه شد.

$$FM=[(DW_1-DW_2/DW_1)\times 100]٪$$

درصد FM: درصد رطوبت علوفه، DW_1: وزن تر نمونه، DW_2: وزن خشک نمونه.

برای اندازه‌گیری محتوی رطوبتی خاک به‌منظور مقایسهٔ تیمارهای ترکیبی پسماندها، زئولیت و پلیمر سوپرجاذب، پیش از آبیاری از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری انجام‌شد. پس از تعیین وزن تر و خشک نمونه‌ها، درصد رطوبت خاک با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه شد (Fotuhi *et al.*, 2008).

$$\text{رطوبت خاک (٪)} = \frac{\text{(وزن خاک خشک- وزن خاک مرطوب)}}{\text{وزن خاک خشک}} \times ۱۰۰$$

www.SID.ir

Archive of SID

برای بررسی روند رشد گیاه در طول فصل، نمونه‌برداری هفده روز پس از کاشت آغاز شد و در کل نه مرحله به فاصلهٔ چهارده روز یکبار و تا پایان مرحلهٔ رسیدن فیزیولوژیک ادامه یافت. در هر مرحله از نمونه‌برداری، شمار پنج گیاه متوالی که معادل ۰/۴۹ مترمربع برای ذرت و ۰/۲۸ مترمربع برای سورگوم بود برداشت شد و پس از تعیین وزن خشک نمونه‌ها، سرعت رشد گیاه [1](CGR) از رابطهٔ زیر محاسبه شد (Hunt, 1990).

$$CGR= (TDM_2-TDM_1)/(T_2-T_1)\times(1/GA)$$

CGR: سرعت رشد گیاه بر حسب گرم در مترمربع در روز، TDM[2]: مادهٔ خشک تولیدشده بر حسب گرم در مترمربع، T_2-T_1: زمان بین دو نمونه‌برداری بر حسب روز، GA: سطح زمین بر حسب مترمربع.

تجزیهٔ داده‌ها

در این تحقیق به‌منظور ایجاد شرایط یکنواخت برای هر دو گیاه در طول فصل رشد، آزمایش به‌صورت فاکتوریل اسپلیت اجراشد، ولی برای تجزیهٔ واریانس، نتایج هر گیاه جداگانه و به‌صورت اسپلیت پلات با استفاده از نرم‌افزار SAS.9.2 مورد تجزیه قرارگرفت (تجزیهٔ واریانس مرکب پس از انجام آزمون بارتلت انجام شد) و برای مقایسهٔ میانگین‌ها در هر گیاه از آزمون کمینهٔ اختلاف معنی‌دار (LSD) و برای مقایسهٔ دو گیاه با یکدیگر از آزمون t-test در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتیجه‌گیری و بحث

درخشندگی سبزینه

در هر دو گیاه تنش خشکی عملکرد کوانتومی نظام‌نوری (F_v/F_m) و درخشندگی متغیر (F_v) را کاهش داد، افزون براین در سورگوم درخشندگی بیشینه (F_m) تحت تأثیر تنش خشکی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ولی کاهش درخشندگی بیشینه (F_m) در ذرت معنی‌دار نبود (جدول ۲). کاهش عملکرد کوانتومی نظام‌نوری II می‌تواند به دلیل تلفات انرژی ناشی از کاهش سرعت انتقال الکترون و یا آسیب نوری به مراکز واکنش نظام‌نوری II باشد (Baker & Roznobet, 2004). درخشندگی اولیه (F_0) و درخشندگی بیشینه (F_m) اجزای تعیین‌کننده عملکرد کوانتومی نظام‌نوری (F_v/F_m) بوده به‌گونه‌ای که افزایش درخشندگی اولیه و کاهش درخشندگی بیشینه مختل شدن فعالیت نظام‌نوریII و در نهایت کاهش کارآیی فتوشیمیایی نظام‌نوری II را موجب می‌شود (Paknejad *et al.*,2007). هر عاملی که تأثیر نامطلوب بر رشد گیاه بگذارد، می‌تواند از طریق اختلال در نقل و انتقال الکترون و آسیب به مراکز واکنش نظام‌نوری II موجب کاهش عملکرد کوانتومی نظام‌نوری شده و درپی آن با کاهش میزان تولید ATP و NADPH در واکنش‌های روشنایی نورساخت عملکرد گیاه را کاهش دهد (Bilger *at al.*, 1995). در این بررسی، کاهش نسبت F_v/F_m تحت تنش خشکی با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار نسبت F_v/F_m با عملکرد علوفه قابل توجیه خواهد بود (جدول ۵). همچنین همبستگی عملکرد کوانتومی نظام‌نوری (F_v/F_m) II، درخشندگی متغیر (F_v) و درخشندگی بیشینه (F_m) با رطوبت خاک مثبت و معنی‌دار بود، ولی همبستگی منفی بین درخشندگی اولیه (F_0) با رطوبت خاک معنی‌دار نبود (جدول ۵). بنابراین می‌توان بیان کرد که تنش خشکی با اختلال در مسیر نقل و انتقال الکترن به دلیل تأمین نبودن آب مورد نیاز گیاه، منجر به کاهش مؤلفه‌های درخشندگی سبزینه به‌غیر از درخشندگی اولیه (F_0) شده‌است. تنش شدید خشکی همراه با تنش گرمایی و نور زیاد می‌تواند مراکز واکنش نظام‌نوری را تخریب کرده و منجر به افزایش درخشندگی اولیه شود (Lu *et al.*, 2002; Paknejad *et al.*, 2007). بدون تغییر درخشندگی اولیه (F_0) تحت تنش خشکی در این بررسی بیانگر این‌است که تنش خیلی شدید نبوده که بتواند مراکز واکنش نظام‌نوری II را تخریب نماید. درخشندگی متغیر (F_v) بیانگر احیای پذیرندهٔ الکترون[3] (Q) است. احیای هرچه بیشتر پذیرندهٔ الکترون (Q) بیانگر این‌است که در جریان انتقال الکترون در واکنش مربوط به تجزیهٔ آب در نظام‌نوری II اختلال ایجادنشده و در نتیجه عملکرد کوانتومی نظام‌نوری افزایش یافته‌است، که همبستگی مثبت و معنی‌دار درخشندگی متغیر (F_v) با عملکرد علوفه تاییدکنندهٔ این مطلب است

1. Crop growth rate
2. Total dry matter
3. Quinon

www.SID.ir

Archive of SID

(جدول۵). بنابراین کاهش درخشندگی متغیر (F_v) تحت تنش خشکی در این بررسی را می‌توان ناشی از اکسیدشدن پذیرندهٔ الکترون (Q) و اختلال در فرایند نقل و انتقال الکترون مربوط دانست. نتیجهٔ این تحقیق با نتیجهٔ Arji *et al.* (2008) که کاهش عملکرد کوانتومی نظام‌نوری II، درخشندگی بیشینه و درخشندگی متغیر را در شرایط تنش خشکی گزارش کرده‌اند، همخوانی دارد. در مقایسهٔ بین دو گیاه، عملکرد کوانتومی نظام‌نوری (F_v/F_m)، درخشندگی متغیر (F_v) و درخشندگی بیشینه (F_m) در ذرت بیشتر از سورگوم بود (جدول۳). بین گونه‌های مختلف گیاهی و حتی ارقام مختلف یک گونه تفاوت‌های ژنتیکی و واکنش‌های متفاوت فیزیولوژیک وجوددارد، بنابراین تفاوت در مؤلفه‌های درخشندگی سبزینه بین دو گیاه در این بررسی را می‌توان به ویژگی‌های ژنتیکی متفاوت دو گونه و همچنین متفاوت بودن موقعیت برگ اندازه‌گیری‌شده و مرحلهٔ رشد دو گیاه در زمان نمونه‌برداری مربوط دانست. سورگوم به‌عنوان یکی از گیاهان مقاوم به خشکی مطرح بوده و انتظار می‌رفت عملکرد کوانتومی نظام‌نوری (F_v/F_m) این گیاه نسبت به ذرت بیشتر باشد، ولی نتیجه برعکس بود. بنابراین به‌نظر می‌رسد متفاوت بودن مرحلهٔ رشد دو گیاه در زمان اندازه‌گیری (سورگوم در مرحلهٔ دوازده برگی و ذرت در مرحلهٔ شیری شدن دانه) و موقعیت متفاوت برگ مورد اندازه‌گیری (برای ذرت برگ بلال و برای سورگوم چهارمین برگ توسعه‌یافتهٔ کامل از بالا) از عامل‌های دخیل باشند. در هر دو گیاه تأثیر تیمارهای ترکیبی کاربرد پسماندها، زئولیت و پلیمر سوپرجاذب بر درخشندگی متغیر و عملکرد کوانتومی نظام‌نوری معنی‌دار بود. در سورگوم تیمار شاهد دارای کمترین عملکرد کوانتومی نظام‌نوری، تیمار کاربرد ۱۰ تن زئولیت به همراه ۴/۵ تن پسماندها در هکتار دارای بیشترین میزان و دیگر تیمارها در گروه میانگین قرار گرفتند. در ذرت تیمار شاهد کمترین عملکرد کوانتومی نظام‌نوری، درخشندگی متغیر و درخشندگی بیشینه را داشت و دیگر تیمارها با قرار گرفتن در یک گروه تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول۲).

جدول ۲. میانگین دو سال مؤلفه‌های درخشندگی سبزینهٔ ذرت و سورگوم تحت تأثیر دو شرایط آبیاری و تیمارهای ترکیبی پسماندهای جو، زئولیت و پلیمر سوپرجاذب

عوامل آزمایشی	ذرت				سورگوم			
	عملکرد کوانتومی نظام‌نوری II F_v/F_m	درخشندگی متغیر F_v	درخشندگی اولیه F_0	درخشندگی بیشینه F_m	عملکرد کوانتومی نظام‌نوری II F_v/F_m	درخشندگی متغیر F_v	درخشندگی اولیه F_0	درخشندگی بیشینه F_m
شرایط آبیاری								
آبیاری معمول	۰/۶۳a	۰/۱۵ a	۰/۰۸۵ a	۰/۲۳ a	۰/۵ a	۰/۰۹۱ a	۰/۰۸۷ a	۰/۱۷ a
تنش خشکی	۰/۵۶ b	۰/۱۲ b	۰/۰۸۸ a	۰/۲۱a	۰/۴۳ b	/۰۶۹ b	۰/۰۸۷ a	۰/۱۵ b
تیمارهای ترکیبی پسماندها، زئولیت و سوپرجاذب								
ZR	۰/۵۹۹ a	۰/۱۴ a	۰/۰۸۸ a	۰/۲۲ a	۰/۴۹ a	۰/۰۸۷ a	۰/۰۸۶ a	۰/۱۷ a
SR	۰/۶ a	۰/۱۳ a	۰/۰۸۳ a	۰/۲۱ ab	۰/۴۸ ab	۰/۰۸۵ ab	۰/۰۸۵ a	۰/۱۷ a
ZSR	۰/۶۱۹ a	۰/۱۴ a	۰/۰۸۶ a	۰/۲۳ a	۰/۴۴ bc	۰/۰۷۵ ab	۰/۰۸۸ a	۰/۱۶ a
R	۰/۶۲ a	۰/۱۴ a	۰/۰۸۸ a	۰/۲۳ a	۰/۴۸ ab	۰/۰۸۴ ab	۰/۰۸۵ a	۰/۱۷ a
C	۰/۵۳۷ b	۰/۱ b	۰/۰۸۶ a	۰/۱۹ b	۰/۴۲۴ c	۰/۰۶۹ b	۰/۰۹۱ a	۰/۱۶ a

میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون، بدون اختلاف آماری معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵درصد می‌باشند.

ZR: ۴/۵ تن پسماندها +۱۰ تن زئولیت در هکتار، SR: ۴/۵ تن پسماندها + ۶۰کیلوگرم پلیمر سوپرجاذب در هکتار

ZSR: ۴/۵ تن پسماندها + ۵تن زئولیت +۳۰ کیلوگرم سوپرجاذب در هکتار، R: ۴/۵ تن پسماندها در هکتار، C: تیمارشاهد

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. مقایسهٔ عملکرد علوفه، رطوبت خاک، شاخص سبزینهٔ برگ و مؤلفه‌های درخشندگی سبزینه بین ذرت و سورگوم

نوع گیاه	عملکرد کوانتومی نظام‌نوری II (F_v/F_m)	درخشندگی متغیر (F_v)	درخشندگی اولیه (F_0)	درخشندگی بیشینه (F_m)	شاخص سبزینهٔ برگ	رطوبت خاک (درصد)	عملکرد تر علوفه ($t\ ha^{-1}$)
ذرت	۰/۶ a	۰/۱۳ a	۰/۰۸ a	۰/۲۲ a	۴۹/۳۵ a	۹/۸۲ a	۶۲/۸ a
سورگوم	۰/۴۷ b	۰/۰۸ b	۰/۰۸ a	۰/۱۶ b	۴۱/۵۷ b	۹/۵ a	۴۹/۳ b

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف مشابه بدون اختلاف آماری معنی‌دار براساس آزمون t-test در سطح احتمال ۵درصد هستند.

نبود تفاوت معنی‌دار بین تیمار پسماندها به‌تنهایی با تیمارهای زئولیت و سوپرجاذب به همراه پسماندها را می‌توان به نقش مؤثر پسماندها در کاهش اثرگذاری‌های تنش خشکی و افزایش عملکرد کوانتومی نظام‌نوری (F_v/F_m) مربوط دانست. با توجه به همبستگی مثبت بین محتوی رطوبت خاک با عملکرد کوانتومی نظام‌نوری II، درخشندگی متغیر و درخشندگی بیشینه (جدول۵) و نقش پسماندها در حفظ رطوبت بیشتر در خاک (جدول۴)، به نظر می‌رسد پسماندهای موجود در سطح خاک توانسته با حفظ رطوبت خاک عملکرد کوانتومی نظام‌نوری II را افزایش دهد. در این بررسی زئولیت در حضور پسماندها تأثیری بر افزایش رطوبت ذخیره‌شده در خاک نداشت (جدول ۴). بنابراین تأثیر زئولیت (۱۰ تن در هکتار) در افزایش عملکرد کوانتومی نظام‌نوری II را می‌توان به دیگر اثرگذاری‌های سودمند زئولیت در بهبود رشد گیاه مربوط دانست. زئولیت کانی آلومینوسیلیکاته‌ای است که علاوه بر افزایش رطوبت خاک، از طرق مختلف از جمله افزایش کارآیی کودهای شیمیایی و آلی، جذب و آزاد نمودن عناصر غذایی متناسب با نیاز گیاه، تثبیت فلزات سنگین و بهبود شرایط تهویه‌ای خاک می‌تواند منجر به بهبود رشد گیاه شود (Mumpton, 1999). نتیجه حاصل از این تحقیق در گیاه سورگوم، با نتیجه Mahdavi (2011) که افزایش نسبت F_m/F_v (عملکرد کوآنتومی فتوسیستم) را در گیاه گلرنگ به واسطه کاربرد زئولیت گزارش نموده است مطابقت دارد.

جدول ۴. میانگین دو سال عملکرد علوفه، رطوبت خاک و شاخص سبزینهٔ برگ ذرت و سورگوم تحت تأثیر دو شرایط آبیاری و تیمارهای ترکیبی پسماندهای جو، زئولیت و پلیمر سوپرجاذب

عامل آزمایشی	سورگوم			ذرت		
	شاخص سبزینهٔ برگ	رطوبت خاک (درصد)	عملکرد تر علوفه ($t\ ha^{-1}$)	شاخص سبزینهٔ برگ	رطوبت خاک (درصد)	عملکرد تر علوفه ($t\ ha^{-1}$)
شرایط آبیاری						
آبیاری معمول	۴۱/۹۴ a	۱۱/۰۷ a	۵۷/۶۵ a	۵۰/۶ a	۱۱/۴ a	۶۸/۳ a
تنش خشکی	۴۱/۲ a	۷/۹۴ b	۴۱/۱۲ b	۴۸ b	۸/۲۴ b	۵۷/۵ b
تیمارهای ترکیبی پسماندها، زئولیت و سوپرجاذب						
ZR	۴۱/۷۶ a	۹/۷۹ a	۵۶/۰۴ a	۵۰/۵ a	۱۰/۰۶ a	۶۷/۵ a
SR	۴۱/۳۸ a	۹/۳۳ ab	۴۶/۴ bc	۵۰/۲ a	۹/۷۸ a	۶۵/۴ a
ZSR	۴۱/۳۲ a	۹/۶۷ a	۵۱/۹ ab	۵۰ a	۱۰/۱۷ a	۶۵/۵ a
R	۴۱/۶۷ a	۹/۶۸ a	۴۸/۳ bc	۴۹/۶ a	۱۰/۱۵ a	۶۲/۹ a
C	۴۱/۷۴ a	۹/۰۴ b	۴۴/۲ c	۴۶/۴ b	۸/۹۵ b	۵۳/۹ b

میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون بدون اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵درصد هستند.

ZR: ۴/۵ تن پسماندها +۱۰ تن زئولیت در هکتار، SR: ۴/۵ تن پسماندها + ۶۰ کیلوگرم پلیمر سوپرجاذب در هکتار

ZSR: ۴/۵ تن پسماندها + ۵ تن زئولیت +۳۰ کیلوگرم سوپرجاذب در هکتار، R: ۴/۵ تن پسماندها در هکتار، C: تیمار شاهد.

شاخص سبزینهٔ برگ

تنش خشکی شاخص سبزینهٔ برگ (SPAD Index) را در گیاه ذرت به‌طور معنی‌داری کاهش داد، ولی کاهش این صفت در سورگوم تحت تنش خشکی معنی‌دار نبود

www.SID.ir

Archive of SID

(جدول ۴). سورگوم به‌عنوان یک گیاه مقاوم به خشکی مطرح بوده، لذا می‌توان بیان کرد که این گیاه در شرایط تنش خشکی با سازوکارهای مقاومت به خشکی که دارد، توانسته با جذب آب بیشتر از خاک و کاهش هدررفت تعرق از کاهش معنی‌دار سبزینهٔ برگ در شرایط تنش جلوگیری کند. کاهش شاخص سبزینهٔ برگ تحت تنش خشکی می‌تواند به دلیل محدودیت عرضه نیتروژن و آب و کاهش ساخت سبزینه (Lauer & Boyer,1992) و یا به واسطهٔ تولید گونه‌های فعال اکسیژن ناشی از تنش اکسیداتیو باشد که اکسیدشدن نوری رنگدانه‌ها و تجزیهٔ سبزینه را درپی دارد (Sairam & Siravastava, 2002). با توجه به همبستگی مثبت رطوبت خاک با شاخص سبزینهٔ برگ در گیاه ذرت (جدول ۵) کاهش سبزینهٔ برگ در این گیاه تحت تنش خشکی را می‌توان بیشتر به کمبود رطوبت قابل استفادهٔ خاک مربوط دانست به‌گونه‌ای که تنش کم‌آبی با اختلال در فرایند نورساخت کاهش این صفت را منجر شده‌است. نتایج همانندی در ارتباط با کاهش محتوی سبزینهٔ برگ تحت تنش خشکی در پنبه (Massacci *et al.*, 2008) و گندم (Paknejad *et al.*, 2007) گزارش شده‌است. در مقایسه بین دو گیاه، شاخص سبزینهٔ برگ ذرت نسبت به سورگوم به میزان ۱۵/۷۶درصد بیشتر بود (جدول ۳). بین گونه‌های مختلف گیاهی و حتی ارقام مختلف یک گونه تفاوت‌های زیادی از لحاظ تغییرات یک صفت وجود دارد، بنابراین برتری ذرت نسبت به سورگوم از لحاظ این صفت را می‌توان به ویژگی‌های ژنتیکی متفاوت دو گونه و متفاوت بودن مراحل رشد دو گیاه در زمان اندازه‌گیری سبزینه مربوط دانست. تیمارهای ترکیبی پسماندها، زئولیت و پلیمر سوپرجاذب بر شاخص سبزینهٔ برگ در گیاه سورگوم تأثیر معنی‌داری نداشتند و تمام تیمارها در یک گروه قرار گرفتند، اما در گیاه ذرت تأثیر تیمارهای یادشده بر این صفت معنی‌دار بود به‌طوری‌که تیمار شاهد دارای کمترین شاخص سبزینهٔ برگ و دیگر تیمارها با دارا بودن میزان بیشتر در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۴). در گیاه ذرت کاهش شاخص سبزینهٔ برگ در تیمار شاهد و نبود تفاوت معنی‌دار بین تیمار کاربرد پسماندها به‌تنهایی با تیمارهای کاربرد زئولیت و سوپرجاذب به همراه پسماندها را می‌توان به نقش مثبت پسماندها در افزایش این صفت مربوط دانست. با توجه به رطوبت بیشتر خاک در تیمار پسماندهای گیاهی (جدول ۴) می‌توان اظهار کرد که پسماندهای موجود در سطح خاک از طریق حفظ رطوبت خاک، بهبود نورساخت گیاه و جلوگیری از تنش اکسایشی از کاهش میزان سبزینهٔ برگ در گیاه ذرت جلوگیری کرده‌است. در تحقیقات گذشته افزایش شاخص سبزینهٔ برگ به واسطهٔ کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار پلیمر سوپرجاذب (Mao *et al.*, 2011) و ۵ تن در هکتار زئولیت (Mahdavi *et al.*, 2011) گزارش شده است، درحالی‌که براساس نتایج این تحقیق پلیمر سوپرجاذب و زئولیت تأثیر معنی‌داری بر شاخص سبزینهٔ برگ نداشتند، بنابراین به‌نظر می‌رسد تأثیر مثبت این مواد در بهبود شاخص سبزینهٔ برگ ذرت احتمال‌دارد به دلیل کاربرد این مواد در حضور پسماندها، توسط پسماندها خنثی شده‌است.

جدول ۵. ضریب‌های همبستگی سادهٔ صفات مورد بررسی برای هر گیاه به صورت جداگانه (ذرت سمت راست و سورگوم سمت چپ)

	درخشندگی بیشینه (Fm)	درخشندگی اولیه (F0)	درخشندگی متغیر (Fv)	عملکرد کوانتومی نظام‌نوری (II Fv/Fm)	شاخص سبزینهٔ برگ	رطوبت خاک	عملکرد تر علوفه	
صفات سورگوم	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	صفات ذرت
۱	۰/۴۱*	-۰/۰۸	۰/۵۸**	۰/۵۷**	۰/۳۵	۰/۸۷**	۱	۱
۲	۰/۴۲*	-۰/۱۹	۰/۶۳**	۰/۶۷**	۰/۳۹	۱	۰/۷۵**	۲
۳	-۰/۰۸	-۰/۵۱*	۰/۲	۰/۴۴*	۱	۰/۴۵*	۰/۴۳*	۳
۴	۰/۵۱*	۰/۳۵	۰/۸۴**	۱	۰/۶۳**	۰/۶۵**	۰/۶۹**	۴
۵	۰/۸۷**	۰/۱۶	۱	۰/۸۹**	۰/۳۷	۰/۷**	۰/۶۹**	۵
۶	۰/۶**	۱	-۰/۰۶	-۰/۴۶*	-۰/۷۱**	-۰/۱۶	-۰/۰۸	۶
۷	۱	۰/۲۵	۰/۹۶**	۰/۷۴**	۰/۱۹	۰/۶۷**	۰/۶۶**	۷

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵درصد و ۱درصد.

www.SID.ir

Archive of SID

رطوبت خاک

در هر دو گیاه، تیمار آبیاری معمول در نیم‌رخ ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک دارای رطوبت بیشتری در مقایسه با تیمار تنش بود (جدول۴). رطوبت بیشتر خاک در تیمار آبیاری معمول به‌دلیل دور آبیاری کمتر (آبیاری براساس ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از طشت تبخیر) در مقایسه با تیمار تنش کم‌آبی (آبیاری براساس ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از طشت تبخیر) قابل توجیه خواهدبود. بین دو گیاه مورد بررسی تفاوت معنی‌داری از لحاظ درصد رطوبت خاک تحت‌کشت نبود، ولی رطوبت خاک تحت‌کشت سورگوم، اندکی کمتر از ذرت بود (جدول۴). سورگوم به‌دلیل نظام ریشه‌ای گسترده و توان مکش بیشتر می‌تواند رطوبت خاک را با توان بیشتری تخلیه کرده و موفق‌تر از ذرت عمل کند (Jiang *et al.*, 2001) تأثیر تیمارهای ترکیبی پسماندها، زئولیت و پلیمر سوپرجاذب بر میزان رطوبت خاک معنی‌دار بود، به‌طوری که در هر دو گیاه کمترین رطوبت خاک به تیمار شاهد تعلق داشت و بین دیگر تیمارها تفاوت معنی‌داری وجودنداشت (جدول۴). حفظ رطوبت خاک به واسطهٔ وجود پسماندها در سطح خاک توسط دیگر محققان گزارش شده‌است (Wicks *et al.*, 1994). همچنین افزایش و حفظ رطوبت خاک به واسطهٔ کاربرد زئولیت و پلیمر سوپرجاذب در خاک نیز در بررسی‌های چندی بیان شده‌است (Polat *et al.*, 2004; Mao *et al.*, 2011). در این بررسی توانایی جذب آب پلیمر سوپرجاذب نود برابر و زئولیت مصرف شده پنجاه‌وپنج برابر وزن خود در شرایط آزمایشگاه بود، لذا به‌نظر می‌رسد به‌دلیل وجود پسماندها که تأثیر معنی‌داری در حفظ رطوبت خاک داشته‌است، تأثیر پلیمر سوپرجاذب و زئولیت با این میزان جذب رطوبت که به‌طور قطع در شرایط خاک نیز کمتر بوده خنثی شده‌است.

عملکرد علوفه

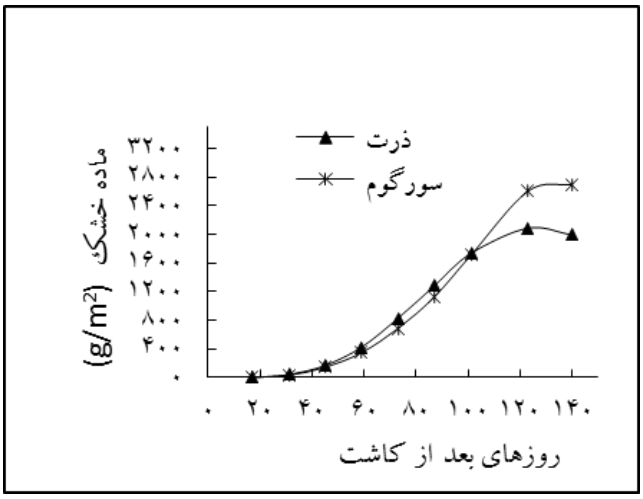
در مقایسهٔ عملکرد علوفهٔ دو گیاه، ذرت به میزان ۱۳/۵ تن در هکتار نسبت به سورگوم برتری داشت (جدول۳). برتری عملکرد علوفهٔ ذرت نسبت به سورگوم (چین اول) را می‌توان به سرعت رشد و تولید مادهٔ خشک بیشتر ذرت در واحد سطح در نود روز اول فصل رشد مربوط دانست (شکل‌های ۱و ۲). با توجه به نمودارهای بالا ملاحظه می‌شود که ذرت از آغاز فصل تا هنگام برداشت علوفه (نود روز پس از کاشت) به‌رغم تراکم کاشت کمتر, سرعت رشد و تولید مادهٔ خشک بیشتری نسبت به سورگوم داشته‌است. نتیجهٔ این بررسی با یافته‌های Khalesro *et al.* (2010) که برتری عملکرد علوفهٔ خشک ذرت نسبت به سورگوم را گزارش کرده‌اند همخوانی دارد. در این بررسی آزمایش در شرایط کشت دوم انجام‌شد و به‌دلیل کاهش دمای محیط پس از برداشت چین اول سورگوم، سرمازدگی آخر فصل و همچنین جلوگیری از تأخیر کاشت برای گندم پاییزه، امکان برداشت اقتصادی برای چین دوم سورگوم وجود نداشت، لذا عملکرد علوفهٔ ذرت با یک چین سورگوم مورد مقایسه قرارگرفت. تحت تنش خشکی عملکرد علوفه هر دو گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول۴). با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دو گیاه مورد بررسی با رطوبت خاک و عملکرد کوانتومی نظام‌نوری (جدول ۵) می‌توان بیان کرد که در شرایط تنش خشکی به دلیل کمبود رطوبت قابل استفادهٔ گیاه در خاک و اختلال در مسیر نقل و انتقال الکترون، گیاه قادر به استفادهٔ مطلوب از انرژی و بستره (سوبسترا) نبوده و در نتیجه عملکرد کاهش یافته‌است.

در بررسی‌های دیگران نیز کاهش عملکرد علوفهٔ ذرت و سورگوم تحت تنش خشکی بیان شده‌است (Sepehri *et al.*, 2002; Naseri *et al.*, 2012). تأثیر تیمارهای ترکیبی پسماندها، زئولیت و پلیمر سوپرجاذب بر عملکرد علوفه در هر دو گیاه معنی‌دار بود (جدول ۴). در سورگوم تیمار کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار در حضور پسماندها و تیمار شاهد به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد علوفه را داشتند و دیگر تیمارها حد وسط تیمارهای فوق قرار گرفتند. در ذرت تیمار شاهد کمترین عملکرد علوفه را تولید کرد، ولی بین دیگر تیمارها تفاوت معنی‌داری نبود. در بررسی یادشده بین تیمار کاربرد سوپرجاذب در حضور پسماندها در مقایسه با تیمار کاربرد پسماندها به‌تنهایی تفاوتی مشاهده‌نشد (جدول۴). با توجه به نتایج، می‌توان به تأثیر مثبت پسماندها بدون حضور زئولیت و سوپرجاذب، نقش سودمند زئولیت (۱۰ تن در هکتار) در

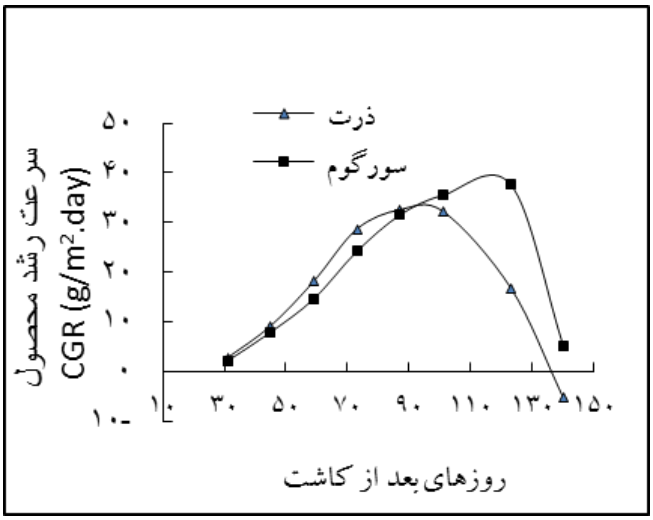
www.SID.ir

Archive of SID

حضور پسماندها و همچنین بی‌تأثیر بودن پلیمر سوپرجاذب در حضور پسماندها در افزایش عملکرد علوفه اذعان کرد. با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار رطوبت خاک و عملکرد کوانتومی نظام‌نوری II با عملکرد علوفه (جدول ۴) و تأثیر معنی‌دار تیمار پسماندها در حفظ رطوبت بیشتر خاک و همچنین افزایش عملکرد کوانتومی نظام‌نوری II (جدول‌های ۲ و ۴) می‌توان بیان کرد که حفظ پسماندهای گیاهی با افزایش و بهبود صفات یادشده توانسته عملکرد علوفه را افزایش دهد. افزایش عملکرد علوفه به واسطهٔ کاربرد زئولیت در حضور پسماندها را می‌توان به اثرگذاری‌های سودمند این کانی در افزایش بازده استفاده از مواد آلی و کودهای شیمیایی، جلوگیری از جذب عناصر سنگین و سمی توسط گیاه و بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مربوط دانست (Mumpton, 1999; Polat, *et al.*, 2004). نتایج همانندی درزمینهٔ افزایش عملکرد علوفهٔ ذرت و سورگوم به واسطهٔ کاربرد زئولیت گزارش شده‌است (Naseri *et al.*, 2012; Bernardi *et al.*, 2011). در تحقیقی افزایش عملکرد علوفهٔ سورگوم به واسطهٔ کاربرد پلیمر سوپرجاذب گزارش شده‌است (Fazeli Rostampour *et al.*, 2012)، اما در این بررسی تأثیر نداشتن پلیمر سوپرجاذب در افزایش عملکرد علوفه را می‌توان به ظرفیت محدود جذب رطوبت خاک توسط پلیمر سوپرجاذب، میزان پلیمر سوپرجاذب مصرف‌شده و کاربرد این ماده در حضور پسماندها مربوط دانست به‌گونه‌ای که پسماندها توانسته با حفظ مطلوب رطوبت خاک تأثیر پلیمر سوپرجاذب را خنثی کند.



شکل ۱. تغییرات تجمع مادهٔ خشک در ذرت و سورگوم در طول فصل رشد



شکل ۲. تغییرات سرعت رشد ذرت و سورگوم (CGR) در طول فصل رشد

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این بررسی تنش خشکی در هر دو گیاه با کاهش عملکرد کوانتومی نظام‌نوری II (F_v/F_m) و درخشندگی متغیر (F_v) در سامانهٔ نورساختی گیاه اختلال ایجاد کرده و علوفهٔ تر هر دو گیاه را کاهش داده است، بنابراین استفاده از این مؤلفه‌ها برای ارزیابی شدت تنش در گیاهان می‌تواند مورد استفاده قرارگیرد. با توجه به تأثیر سودمند و معنی‌دار کاربرد پسماندها (۴/۵ تن در هکتار) و زئولیت (۱۰ تن در هکتار) در افزایش عملکرد علوفه و بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه، کاربرد این مواد برای کشت دوم و در شرایط کمینهٔ خاک‌ورزی توصیه می‌شود. قیمت ۱۰ تن زئولیت طبیعی از نوع کلینوپتیلولیت با احتساب ۶۰۰ ریال برای هر کیلوگرم (قیمت سال ۱۳۹۲) هزینه‌ای معادل ۶ میلیون ریال خواهد داشت، در حالی‌که ارزش ریالی ۶/۲ تن علوفهٔ تولید شده به واسطهٔ کاربرد زئولیت براساس قیمت علوفهٔ ذرت در سال ۱۳۹۲ (۱۵۰۰ ریال برای هر کیلوگرم) معادل ۹/۳ میلیون ریال بوده‌است که کاربرد این کانی را از لحاظ اقتصادی توجیه می‌نماید. علاوه براین با یک‌بار مصرف زئولیت در خاک می‌توان شاهد اثرگذاری‌های سودمند این کانی بر رشد گیاه و بهبود ویژگی‌های خاک برای چندین سال بود، ضمن اینکه در ایران معادن غنی از زئولیت طبیعی وجود دارد که بیشتر آنها بدون‌استفاده مانده‌اند، در حالی‌که مصرف این کانی در اراضی کشاورزی می‌تواند بسیار سودمند باشد. در نود روز اول فصل رشد، ذرت به دلیل سرعت رشد و تولید مادهٔ خشک بیشتر نسبت به سورگوم علوفهٔ بیشتری تولید کرد لذا سورگوم به دلیل کوتاه بودن فصل رشد در شرایط کشت دوم منطقهٔ معتدل کرمان و عملکرد علوفهٔ کمتر نمی‌تواند جایگزین مناسبی برای کشت ذرت باشد.

REFERENCES

1. Anjum, S.A., Wang, L.C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L.L. & Zou, C.M. (2011). Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197, 177-185.
2. Araus, J.L., Amaro, T., Voltas, J., Nakkoul, H. & Nachit, M. M. (1998). Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 55, 209-223.
3. Arji, I. & Arzani, K. (2008). Effect of water stress on some biochemical changes in leaf of five olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Acta Horticulturae*, 791, 523-526.
4. Baker, N.R. & Rosenqvist, E. (2004). Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 55, 1607-1621.
5. Bernardi, A. C. C., Souza, G.B.D., Polidoro, J.C., Paiva, P.R.P. & Mello, M.B.D. (2011). Yield, quality components, and nitrogen levels of silage maize fertilized with urea and zeolite. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42, 1-10.
6. Bilger, W., Schreiber, U. & Bock, M. (1995). Determination of the quantum efficiency of photosystemII and of non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the field. *Oecologia*, 102(4), 425-432.
7. Fazeli Rostampour, M., Yarnia, M. & Farokhzadeh Khoee, R. (2012). Effect of superab A200 and drought stress on dry matter yield in forage sorghum. *American –Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 12 (2), 231-236.
8. Fotouhi, K., Ahmdaly, J., Noorjo, A., Pedram, A. & Khorshid, A. (2008). Irrigation management under water discharge permit at the different stages of sugar beet grown in Miandoab region. *Journal of Sugar Beet*, 24 (1), 43-60 (in Farsi).
9. Hunt, R. (1990). *Basic growth analysis. Plant growth analysis for beginners*. London: Unwin Hyman.
10. Jiang, Y. & Huang, B. (2001). Osmotic adjustment and root growth associated with drought pre-conditioning enhanced heat tolerance in Kentucky bluegrass. *Crop Science*, 41, 1168-1173.
11. Khalesro, S., Aghaalikhani, M. & Moddares Sanavy, S.A.M. (2010). Effect of nitrogen fertilizer on yield and quality of forage maize, pearl millet and sorghum in double-cropping system. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 7(6), 930-938. (In Farsi)
12. Lauer, M. J. & Boyer, J. S. (1992). Internal CO2 measures directly in leaves: ABA and low leaf water potential cause opposing effects. *Plant Physiology*, 98, 1010-1016.
13. Lu, Q., Lu, C., Zhang, J. & Kuang, T. (2002). Photosynthesis and chlorophyll a fluorescence during flag leaf senescence of field-grown wheat plants. *Journal of Plant Physiology*, 159, 1173-1178.

www.SID.ir

Archive of SID

14. Mahdavi, B. (2011). *Evaluate the interaction of Chitosan and zeolite on phenology and yield of Safflower (Carthamus tinctorius* L.*) under water stress*. Ph. D. dissertation, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (In Farsi)
15. Mao, S., Islam, M.R., Hu, Y., Qian, X., Chen, F. & Xue., X. (2011). Antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in Maize (*Zea mays* L.) following soil application of super absorbent polymer at different fertilizer regimes. *African Journal of Biotechnology*, 10 (49), 1000-1008.
16. Massacci, A., Nabiev, S.M., Pietrosanti, L., Nematov, S.K., Chernikova, T.N., Thor, K. & Leipner, J. (2008). Response of the photosynthetic apparatus of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) to the onset of drought stress under field conditions studied by gas-exchange analysis and chlorophyll fluorescence imaging. *Plant Physiology and Biochemistry*, 46, 189–195.
17. Mumpton, F. A. (1999).Uses of natural zeolites in agriculture and industry. *Proceeding of the National Academy of Sciences USA*, 96, 3463-3470.
18. Naseri, M., Khalatbari, M. & Paknejad, F. (2012). Evaluate the effect of different ranges Zeolite consuming on yield and yield component and physiological characteristics of grain Sorghum (*Sorghum bicolor* L.Moench) Var. Kimiya under water deficit stress. *Annals of Biological Research*, 3 (7), 3547-3550.
19. Nazari, H., Zardashti, M.R., Darvishzadeh, R. & Najafi, S. (2010). The effect of water stress and polymer on water use efficiency, yield and several morphological traits on sunflower. *Nodulescientia Biologicae*, 2(4), 53-58.
20. Paknejad, F., Majidi Heravan, E., Noor Mohammadi, Q., Siyadat, A. & Vazan, S. (2007). Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 5 (4), 162-169.
21. Polat, E., Karaca, M., Demir, H. & Naci Onus, A. (2004). Use of natural zeolite (Clinoptilolite) in agriculture. *Fruit and Ornamental Plant Research*, 12, 183-189.
22. Sairam, R.K. & Siravastava, G.C. (2002). Changes in antioxidant activity in sub cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stress. *Journal of Plant Science*, 162, 897-907.
23. Sepehri, A., Moddares Sanavy, S.A.M., Gherehyazy, B. & Yamini, Y. (2002). Effect of Water Stress and Nitrogen Fertilizer on growth and development stages, yield and yield components of maize (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 3 (4), 184-20 (In Farsi).
24. Shao, H.B., Chu, L.Y., Jaleel, C.A., Manivannan, P., Panneerselvam, R. & Shao, M.A. (2009). Understanding water deficit stress-induced changes in the basic metabolism of higher plants-biotechnologically and sustainably improving agriculture and the Eco environment in arid regions of the globe. *Critical Reviews in Biotechnology*, 29, 131-151.
25. Tolstikh, L. I., Akimov, N. I., Golubeva, I. A. & Shvetsov, I. A. (1992). Degradation and stabilization of polyacrylamide in polymer flooding conditions. *International Journal of Polymeric*, 17, 177-193.
26. Wicks, G. A., Crutchfield, D. A. & Burnside, O. C. (1994). Influence of wheat (*Triticum aestivum* L.) straw mulch and metolachlor on corn (*Zea mays* L.) growth and yield. *Weed Science*, 42, 141-147.

www.SID.ir