مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی
جلد سوم، شماره اول، بهار ۸۹
۸۹-۱۰۲
www.ejcp.info

ارزیابی تحمل به شوری ارقام سورگوم علوفه‌ای با استفاده از شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش

امین آناقلی[۱]، سیدعلی طباطبایی[۲] و عزیز فومن[۳]

[۱]عضو هیات علمی مرکز ملی تحقیقات شوری، [۲]عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی یزد،
[۳]عضو هیات علمی بخش تحقیقات ذرت و گیاهان علوفه‌ای موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر

چکیده

به‌منظور بررسی تحمل به شوری لاین‌های امید بخش سورگوم علوفه‌ای داخلی این آزمایش در دو مرحلهٔ آزمایشگاهی و مزرعه‌ای انجام گردید. در مرحلهٔ جوانه‌زنی تیمارهای آزمایش شامل سطوح شوری ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر و یک تیمار آب مقطر به عنوان شاهد و ارقام شامل KFS_1، KFS_2، KFS_3، KFS_4، MFS_1، MFS_2 و LFS_{56} بودند. در آزمایش مزرعه‌ای نیز ارقام فوق در دو شرایط تنش شوری (با آب ۱۱ dS/m) و بدون تنش شوری (با آب ۲dS/m) طی سال‌های ۸۳ و ۸٤ کشت گردیدند. نتایج آزمایش نشان داد که در شرایط آزمایشگاهی با افزایش شوری محیط کشت، T_{50} (مدت زمان لازم برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی) افزایش یافت. همچنین بدون در نظر گرفتن نوع رقم، آستانهٔ تحمل در مرحله جوانه‌زنی ۸/۳۷ dS/m با شیب ۱/٦٤ درصد برآورد گردید. در شرایط مزرعه‌ای و غیرشور بیشترین عملکرد تر را رقم KFS_2 با متوسط ۷۷/۲۵ تن در هکتار تولید کرد و پس از آن رقمهای KFS_3 و KFS_4 بیشترین عملکردها را داشتند. در شرایط تنش شوری بالاترین عملکرد تر مربوط به رقم KFS_3 با متوسط ۵۵/٦۳ تن در هکتار بود. در این شرایط رقم KFS_2 بطور متوسط ٤۹/٤٤ تن در هکتار تولید کرد. براساس شاخص حساسیت و تحمل به تنش ارقام KFS_3 و KFS_2 را می‌توان از لحاظ پایداری عملکرد ارقام مناسبی دانست.

واژه‌های کلیدی: پایداری عملکرد، تنش شوری، سورگوم

* - مسئول مکاتبه: anagholi@Yahoo.com

مقدمه

رشد گیاهان در بسیاری از مناطق دنیا تحت تاثیر تنش‌های محیطی زنده و غیر زنده می‌باشد و کشاورزی در آن نقاط با صرف هزینه بیشتر و بازده کمتر انجام می‌گیرد. در ایران، وسعت اراضی شور حدود ٤٤/٥ میلیون هکتار می باشد که به درجات مختلف دچار مشکل شوری و قلیائیت هستند (بنایی و همکاران، ۲۰۰۵). مساله شوری در اغلب مناطق مورد کشت سورگوم در دنیا مطرح است (تیلور و همکاران، ۱۹۷۵). سورگوم علوفه‌ای در جهان به دو صورت لاین‌های خالص و ارقام هیبرید مورد کشت و کار قرار می‌گیرد. خصوصیات مورفولوژیکی این گیاه سبب شده است که به عنوان شاخص گیاهان زراعی مقاوم به خشکی معرفی شود از لحاظ درجه تحمل به شوری نیز به عنوان یک گیاه نیمه متحمل با آستانه تحمل به شوری ٦/٨ dS/m شناخته شده است (فرانکویس و همکاران، ۱۹۸٤). این گیاه براساس تقسیم بندی گیاهان در مقاومت به تنش شوری، در کلاس نیمه متحمل قرار می‌گیرد (ماس و هافمن، ۱۹۷۷). اما در بین ارقام یک گونه زراعی، تحمل به تنش شوری می‌تواند بسیار متفاوت باشد. این تفاوت‌ها در داخل گونه‌های زراعی می‌تواند به‌عنوان یک شاخص جهت ارزیابی تحمل به نمک اهمیت پیدا کند. سانسری و همکاران (۲۰۰۲) عنوان کردند که احتمالاً لاین‌های انتخاب شده سورگوم در مناطق نیمه‌خشک مقاومت بیشتری به شوری نشان دهند.

یکی دیگر از مباحث مهم در برنامه‌های به نژادی و معرفی رقم مقاوم و سازگار به عوامل محیطی، عکس‌العمل ژنوتیپ(ها) در محیط‌های متفاوت می‌باشد. از مهمترین شاخص‌های ارزیابی عکس‌العمل ژنوتیپ‌ها به شرایط محیطی مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ و محیط است، در واقع پایداری عملکرد یک ژنوتیپ از طریق عدم تغییرات قابل ملاحظه اثر متقابل ژنوتیپ با محیط وقتی که شرایط محیطی ثابت نباشد ارزیابی می‌شود، بنابراین در بررسی مواد آزمایشی در برنامه‌های به نژادی ژنوتیپ‌هایی سازگار ارزیابی می‌شوند که واریانس اثر متقابل آنها با محیط اندک باشد. برای ارزیابی عکس‌العمل ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی مختلف، شاخص‌های متفاوتی ارائه شده است که از آنها می‌توان برای تعیین مقاومت و یا حساسیت ژنوتیپ‌ها به تنش‌های محیطی استفاده کرد. روزلی و هامبلین (۱۹۸۱) شاخص‌های Tol [1] (شاخص تحمل به تنش) و MP [2] (شاخص متوسط محصول‌دهی) را معرفی کرده‌اند. انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در این شاخص‌ها براساس Tol کمتر و MP بیشتر می‌باشد. آن‌ها

1- Tolerance index
2- Mean productivity

شرط لازم را برای ایجاد ارتباط مثبت و منطقی بین شاخص‌های Tol و MP در این دانستند که واریانس ژنتیکی در محیط تنش بزرگتر از محیط غیرتنش باشد. فیشر و مائورر (۱۹۷۸) شاخص حساسیت به تنش[1] (SSI) را پیشنهاد کردند. فرناندز (۱۹۹۲) نیز شاخص مقاومت به تنش[2] (STI) را معرفی کرد. این شاخص‌ها در قسمت مواد و روش‌ها تشریح گردیده‌اند. در شاخص SSI به‌دلیل استفاده از ثابت سختی شرایط محیط (SI) و در شاخص STI به دلیل استفاده از ثابت میانگین هندسی($\sqrt{Y_p \times Y_s}$)، کارایی بیشتری در انتخاب لاینهای برتر دارند با این وجود با تغییر سختی محیط(SI) در شاخص SSI ممکن است نتایج متفاوتی در سال‌ها و مناطق مختلف بدست آید. در شاخص STI نیز به‌دلیل خاصیت ضرب اعداد ممکن است یک مربع میانگین هندسی ثابت برای جفت‌هایی از اعداد که با یکدیگر تفاوت آشکار دارند وجود داشته باشد (نادری و همکاران،۲۰۰۰). لذا در این بررسی سعی شده است تا از شاخص‌های مهمتر و همچنین میزان تولید در شرایط تنش و غیر تنش استفاده شود. ارقام خالص سورگوم علوفه‌ای در ایران حاصل طرح‌های تحقیقاتی می‌باشد که کراس و خالص‌سازی آنها به روش بالک پدیگری در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در کرج و مشهد انجام گرفته است که برخی از لاین‌های امیدبخش آن در این آزمایش از لحاظ مقاومت به شوری بررسی خواهند شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در دو مرحلهٔ آزمایشگاهی و مزرعه‌ای به ترتیب در آزمایشگاه مرکز ملی تحقیقات شوری و ایستگاه تحقیقات شوری صدوق با مختصات جغرافیائی °۳۲ و ′۰۳ و ″۲۲ شمالی و °۵٤ و ′۱٤ و ″۰۲ شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۱۱۳٤ متر واقع در ۲۵ کیلومتری شهرستان یزد به‌مدت دو سال (۸۳ و ۸٤) انجام گردید. در مرحلهٔ آزمایشگاهی تیمارهای آزمایش شامل سطوح شوری ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ دسی زیمنس بر متر و یک تیمار آب مقطر به‌عنوان شاهد و رقم شامل ارقام داخلی سورگوم علوفه‌ای KFS_1، KFS_2، KFS_3، KFS_4، MFS_1، MFS_2 و LFS_{56} بودند که به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار اجرا گردید. شوری محیط کشت با نمک‌های کلرید

1- Stress susceptibility index
2- Stress tolerance index

سدیم و کلرید کلسیم به نسبت وزنی $2NaCl:1CaCl_2$ ایجاد گردید. سرعت جوانه زنی از رابطهٔ زیر محاسبه گردید

$$GR = \frac{x_1}{y_1} + \frac{x_2 - x_1}{y_2} + ... + \frac{x_n - x_{n-1}}{y_n} \quad (۱)$$

که در آن x_n درصد بذور جوانه زده در شمارش n ام و y_n تعداد روز از ابتدای کشت تا زمان شمارش n ام می‌باشد. میزان T_{50} یا مدت زمان لازم برای ۵۰٪ جوانه زنی بر حسب روز نیز از رابطهٔ زیر حساب گردید

$$T_{50} = t_t \left(\frac{\frac{N+1}{2} - n_i}{n_j - n_i} \right) \times \left(t_j - t_i \right) \quad (۲)$$

که در آن N ، بذرهای جوانه‌زده در پایان آزمایش؛ n_i و n_j، تعداد بذرهای جوانه زده در روزهای انتخابی t_i و t_j و بالاخره t_t مدت زمان لازم برای حداکثر جوانه‌زنی می‌باشد.

برای محاسبه الگوی کاهش جوانه‌زنی نسبت به شوری از روابط ۳ و ٤ استفاده گردید.

$$Y_r = 100 - [l \times (EC - A_0)] \quad (۳)$$

$$Y_r = \frac{Y_m}{1 + \left(\frac{C}{C_{50}} \right)^p} \quad (٤)$$

که در اولی آستانهٔ تحمل به شوری (A_0)در مرحله جوانه‌زنی براساس مدل خطی و شیب خط (۱) به‌دست می‌آید. براساس مدل بعدی نیز، غلظتی از شوری که ۵۰ درصد جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (C_{50}) به‌دست می‌آید. در این معادله (Y_m) درصد جوانه‌زنی در شرایط بدون تنش می‌باشد که در این آزمایش به‌صورت نسبی ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شد. C غلظت نمک یا شوری محیط و P ثابت تجربی است. برای نرمال بودن اعداد درصد جوانه زنی در تجزیه واریانس آن از تبدیل زاویه‌ای $Arc\sin\sqrt{x}$ استفاده گردید. در آزمایش مزرعه‌ای، ارقام فوق در دو شرایط تنش شوری و بدون تنش شوری در سه تکرار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی کشت گردیدند. شوری آب آبیاری

برای شرایط شور و غیرشور به‌ترتیب ۱۱ و ۲ دسی‌زیمنس بر متر بود. برای محاسبهٔ شاخص حساسیت به تنش (SSI) و شاخص مقاومت به تنش (STI) از روابط زیر استفاده گردید:

$$SSI = \frac{1-\frac{Y_s}{Y_p}}{1-\frac{\overline{Y_s}}{\overline{Y_p}}} \quad (۵)$$

$$STI = \frac{Y_p \times Y_s}{\overline{Y_p^2}} \quad (۶)$$

که Y_s ،Y_p ،$\overline{Y_s}$ و $\overline{Y_p}$ به‌ترتیب عملکرد ژنوتیپ در شرایط تنش، عملکرد ژنوتیپ در شرایط بدون تنش، میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش می‌باشد. برای محاسبه شاخص‌های دیگر نیز از روابط زیر استفاده گردید:

$$Tol = Y_p - Y_s \quad (۷)$$

$$MP = \frac{Y_p + Y_s}{2} \quad (۸)$$

$$GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s} \quad (۹)$$

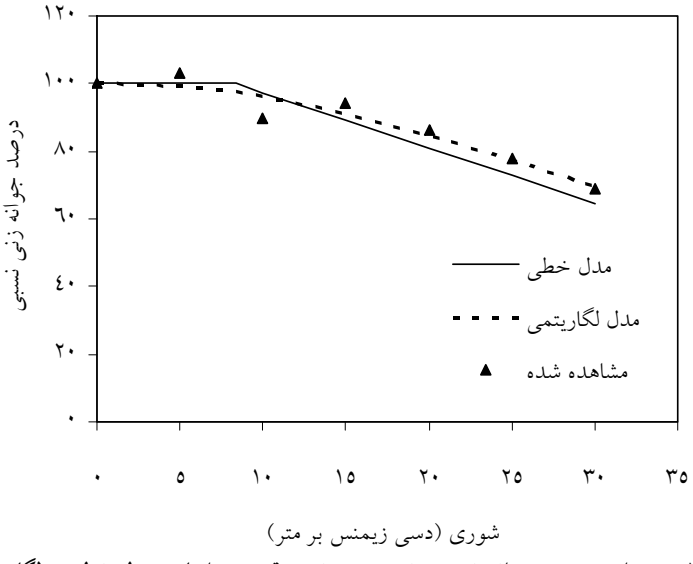
برای انجام محاسبات آماری، تجزیه واریانس و بدست آوردن ضرائب معادلات از نرم‌افزار SAS و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن و سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

جوانه زنی: براساس رابطه ۳، آستانه تحمل به شوری در مرحله جوانه زنی بدون در نظر گرفتن نوع رقم ۸/۳۷dS/m و شیب خط کاهش جوانه زنی ۱/٦٤ درصد محاسبه گردید. در این معادله غلظتی از شوری که در آن عملکرد یا صفت مورد مطالعه ۵۰ درصد کاهش می یابد از رابطه $C_{mid}=(0.5/l)+A_0$ قابل برآورد است که در این آزمایش ۳۸/۸ dS/m محاسبه گردید. براساس رابطه ٤ نیز C_{50} به میزان ٤۳/٤۷ dS/m برآورد گردیده است. با توجه به شکل ۱ به نظر میرسد که دقت برآورد ۵۰ درصد کاهش جوانه‌زنی بر اساس مدل لگاریتمی بیشتر از مدل دو خطی باشد چراکه نقاط واقعی بر روی مدل لگاریتمی پراکنش مناسبتری دارند، اما مدل دو خطی نیز بدلیل اینکه نقطه

شروع کاهش جوانه‌زنی را نشان می دهد، می‌تواند بسیار مفید باشد. در معادله ٤، p یک ثابت تجربی می‌باشد که ۲/۲۱ برآورد گردید (برای جزئیات بیشتر به مقاله آناقلی، ۲۰۰۸ مراجعه شود). در بین ارقام مورد بررسی رقم‌های KFS_2 و KFS_4 با ۸۱/۷ و ۸۱/۲ درصد بالاترین درصد جوانه‌زنی را داشتند و پس از آن رقم‌های KFS_1 و MFS_1 در گروه بعدی قرار گرفتند. فرانکویس و همکاران (۱۹۸٤) نیز عنوان کرده بودند که سورگوم در مرحله جوانه زنی نسبت به مراحل بعدی رشد تحمل بیشتری به شوری دارد و در شوری‌های بالای dS/m ۲۲ درصد جوانه‌زنی بالایی بدست می‌آید.

در این آزمایش بالاترین سرعت جوانه‌زنی در شوری‌های ۰ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. در شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر کاهش محسوسی در سرعت جوانه‌زنی مشاهده گردید و با افزایش درجه شوری تا ۱۵ دسی زیمنس بر متر این کاهش تغییر چندانی نداشت و پس از آن تقریباً با سرعت یکنواختی کاهش پیدا کرد (جدول ۲) براین اساس می توان از رابطه $Y = -۰/۸۳ x+٤۳/۹$ ($R^2=0.97$)، تغییرات سرعت جوانه‌زنی را برآوردکرد. تاخیر در سرعت جوانه زنی سورگوم به علت تنش شوری در آزمایش فرانکویس و همکاران(۱۹۸٤) نیز مشاهده گردید، آنها عنوان کردندکه شوری بالای dS/m ۸/۲ باعث تاخیر در سرعت جوانه زنی گردید و در شوری‌های بالا، جوانه زنی در ۱۰ روز کامل شد.



شکل ۱- تغییرات درصد جوانه‌زنی بدون توجه به نوع رقم و بر اساس مدل خطی و لگاریتمی

در بین ارقام مورد بررسی بالاترین سرعت جوانه‌زنی در رقم KFS_2 مشاهده گردید که با رقم MFS_1 تفاوت معنی‌داری نداشت. رقم LFS_{56} سرعت جوانه‌زنی بسیار پائینی داشت که بسیار متفاوت نسبت به بقیه ارقام می‌باشد، رقم KFS_3 نیز دارای سرعت جوانه‌زنی پائینی می‌باشد (جدول ۳). رحیمی و چائی چی (۲۰۰۵) از این لحاظ رقم کیمیا را مقاومترین و رقم اسپید فید را حساسترین رقم در بین ارقام مورد بررسی خود معرفی کردند. ماس و همکاران (۱۹۸٦) نیز ضمن اشاره به تفاوت سرعت جوانه‌زنی ارقام سورگوم در اثر تنش شوری، عنوان کردند که این گیاه در مراحل مختلف رشدی نیز به تنش شوری مقاومت‌های متفاوتی را نشان می‌دهد. در آزمایش جوانه‌زنی کمترین مقدار T_{50} در شوری‌های ۰ و ۵ دسی زیمنس بر متر محاسبه گردید (جدول ۲). تیمارهای شوری ۱۰ و ۱۵ دسی زیمنس بر متر نیز با T_{50}های ۲/۰ و ۲/٦ روز در سطح احتمال ۵ درصد در گروه برتر قرار گرفت. تیمار ۲۰، ۲۵ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر با ۳/۲، ٤/۷ و ٦/۱ روز به‌ترتیب در گروه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۲). بر اساس معادلات رگرسیون معادله درجه ۲ ($Y=۱/۸۰-۰/۰۵\ x+۰/۰۰٦\ x^۲$) با $R^2=۰/۹۹$ برازش بهتری برای تغییرات T_{50} نسبت به شوری دارد. کمترین مقدار T_{50} در رقم KFS_2 با ۱/۹ روز مشاهده شد و رقم‌های KFS_1، KFS_4، MFS_1 و MFS_2 تقریباً با اختلاف ۱ روز در گروه آماری برتر قرار گرفتند. بیشترین مقدار T_{50} در رقم KFS_3 با ۵/۱ روز محاسبه گردید. کمترین تغییرات T_{50} در رقم KFS_2 و بیشترین تغییرات در رقم KFS_3 بود (جدول ۳). در آزمایش مشابه که درگیاه جو انجام گردید مقدار T_{50} برای ارقام حساس در شرایط تنش شوری ٦ روز و برای ارقام مقاوم ۳ روز بود (تاجبخش و صادقی، ۱۹۹۹). به‌طورکلی در این آزمایش رقم KFS_2 دارای درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی خوبی بود و مدت زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه زنی نیز در آن کمتر از ارقام دیگر بود. ولی همانطوری‌که عنوان گردید نمی‌توان فقط بر اساس تحمل به شوری بیشتر در مرحله جوانه‌زنی یا مرحله خاصی از رشد رقمی را متحمل معرفی نمود بنابراین بهتر است واکنش طبیعی گیاه در شرایط واقعی و مزرعه نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

جدول ۱- میانگین مربعات صفت‌های مورد بررسی در آزمایش جوانه‌زنی

منابع تغییر	درجه آزادی	درصد جوانه زنی	سرعت جوانه‌زنی	T_{50}
	٦	۱٤٤/٤**	۱۷۵۲/۲**	۵۱/۰**
رقم	٦(۵)†	۱۱۲۰/٤**	۳۹۰٤/٤**	۲۳/۰**
شوری× رقم	۳٦(۳۰)	۸/۳۸*	۸۷/۳*	٤/۹^{ns}
خطا	۹۸(۷٤)	۱۲/۰٤	۵۲/۵	۳/۸
CV (%)	-	۱۸/۸	۲۳/۱	۲۳/۱

* ، ** و ns : به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ و غیر معنی‌دار می‌باشد.

†: درجه آزادی‌های داخل پرانتز مربوط به T_{50} می‌باشد.

جدول ۲- مقایسه میانگین صفت‌های مورد بررسی سورگوم در آزمایش جوانه‌زنی در شوری‌های مختلف.

شوری	جوانه‌زنی (درصد)	سرعت جوانه‌زنی (درصد در روز)	T_{50} (روز)
۰	۷۰/۹^{ab}	٤۲/۰^{a}	۱/۸^{a}
۵	۷۳/۱^{a}	٤۱/۸^{a}	۱/۷^{a}
۱۰	٦۳/۸^{bc}	۳٤/۲^{b}	۲/۰^{ab}
۱۵	٦٦/۷^{abc}	۳۳/۲^{bc}	۲/٦^{ab}
۲۰	٦۱/۲^{cd}	۲۷/٦^{cd}	۳/۲^{b}
۲۵	۵۵/۰^{de}	۲۳/۰^{de}	٤/۷^{c}
۳۰	٤۸/۸^{e}	۱۷/۹^{e}	٦/۱^{d}

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در سورگوم آزمایش جوانه‌زنی در ارقام مختلف.

رقم	جوانه زنی (درصد)	سرعت جوانه‌زنی (درصد در روز)	T_{50} (روز)
KFS_1	۷۱/٤^{b}	۳۵/۳^{bc}	۳/۲^{a}
KFS_2	۸۱/۷^{a}	٤٤/۲^{a}	۱/۹^{a}
KFS_3	۵۸/۳^{c}	۲۵/۹^{d}	۵/۱^{b}
KFS_4	۸۱/۲^{a}	۳۵/۰^{c}	۳/۰^{a}
MFS_1	۷۰/۰^{b}	۳۹/۹^{ab}	۲/۹^{a}
MFS_2	٦٦/۹^{b}	۳٦/۳^{bc}	۲/۸^{a}
LFS_{56}	۱۰/۰^{d}	۳/۲^{e}	-

عملکرد کل علوفه تر: براساس نتایج مزرعه‌ای و تجزیه مرکب دو ساله آزمایش، اثر سال بر عملکرد کل علوفه‌تر در شرایط غیرشور معنی‌دار نبود ولی در شرایط شور در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید (جدول ٤). متوسط عملکرد در شرایط غیرشور در سال اول آزمایش ٦٦/۱۲ تن در هکتار بود و در سال دوم به ٦۱/۷۹ تن در هکتار رسید. در شرایط تنش شوری متوسط عملکرد در سال اول و دوم به‌ترتیب ٤۵/٤۹ و ۲۷/۷۳ تن در هکتار گردید. این امر به‌علت سختی شرایط محیطی (SI) در سال دوم آزمایش بود که در سال اول و دوم به‌ترتیب ۰/۳۳ و ۰/۵۵ بود. در تجزیه سالانه این آزمایش اثر

رقم در سال اول آزمایش در هر دو شرایط در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ٤) و در سال دوم آزمایش اثر رقم در شوری ۲ dS/m در سطح احتمال ۵ درصد و در شوری ۱۱ dS/m در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید (جدول ٤). براساس تجزیه مرکب دو ساله آزمایش نیز در شرایط شور و غیرشور اثر رقم در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید (جدول ٤). بیشترین عملکرد کل علوفه‌تر را طی دو سال در شرایط غیرشور رقم KFS_2 با متوسط ۷۷/۲۵ تن در هکتار تولید کرد و پس از آن رقم‌های KFS_3 و KFS_4 با ۷۳/۲۲ و ۷۰/۰۵ تن در هکتار بیشترین عملکردها را داشتند. رقم‌های KFS_1 و MFS_2 نیز در شرایط غیرشور عملکردهای بالایی را تولید کردند، در این بین رقم‌های MFS_1 و LFS_{56} به‌ترتیب با ٤۵/۱۵ و ۵۷/۷۸ تن در هکتار کمترین عملکرد کل علوفه‌تر را بخود اختصاص دادند (جدول ۵). در شرایط تنش شوری بالاترین عملکرد کل علوفه تر مربوط به رقم KFS_3 با متوسط ۵۵/٦۳ تن در هکتار بود. رقم KFS_2 که بالاترین عملکرد را در شرایط غیرشور داشت، در شرایط شور به‌طور متوسط ٤۹/٤٤ تن در هکتار تولید کرد (جدول ۵). کاهش عملکرد ارقام KFS_2 و KFS_3 در شرایط شور نسبت به شرایط غیرشور بر اساس جدول ۵ به‌ترتیب ۳٦ درصد و ۲٤ درصد بود. رقم KFS_4 در شرایط تنش شوری به طور متوسط طی دو سال دارای عملکردی معادل ۳۹/۵۱ تن در هکتار بود که بر اساس جدول ۵ نسبت به شرایط غیرشور ٤۳/٦٪ کاهش نشان می‌دهد. پس از آن رقم‌های KFS_1 و LFS_{56} قرار داشتند که دارای عملکردهای ۳۵/٦۱ و ۳۰/۲٤ تن در هکتار بودند، این ارقام نسبت به شرایط غیرشور کاهش عملکردی معادل ٤۳/۳ درصد و ٤/۷ درصد داشتند (جدول ۵). کمترین عملکرد کل علوفه تر در این آزمایش مربوط به ارقام MFS_1 و MFS_2 به‌ترتیب با ۱۸/۷٦ و ۲۷/۱۰ تن در هکتار بود. این ارقام نیز کاهش عملکردی معادل ۵۵/۹ و ٤۷/۷ درصد نسبت به شرایط غیرشور داشتند. بطورکلی ارقام MFS_1، MFS_2 و LFS_{56} در شرایط غیرشور نیز دارای پتانسیل پائین بودند و عملکردهای بالایی را تولید نکردند. در این آزمایش اثر متقابل سال × رقم در شرایط تنش شوری در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید، چرا که رقم‌های KFS_1، KFS_4، MFS_2 و LFS_{56} در سال دوم عملکردهای بسیار پایین را نسبت به سال اول تولید کردند. ولی در شرایط غیرشور تغییرات عملکرد کل علوفه تر در سال دوم نسبت به سال اول زیاد شدید نبود. علت این امر را می‌توان در شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش جستجو کرد.

جدول ٤ – میانگین مربعات عملکرد کل علوفه تر ارقام سورگوم در سال‌های مختلف و تجزیه مرکب.

منابع تغییر	سال اول (۲dS/m)	سال اول (۱۱dS/m)	سال دوم (۲dS/m)	سال دوم (۱۱dS/m)	تجزیه مرکب (۲dS/m)	تجزیه مرکب (۱۱dS/m)
سال	–	–	–	–	۱۹۷/۱۷ ns	۳۳۱٤/٦ *
تکرار	۳/۱٤ ns	۳۱٦/۵۸ *	۲۰/۵۸ ns	۲۰/۹٤ ns	۷۸/۷۵ †	۳۱٤/۵ †
رقم	۵۱۸/۹ **	۵۱٦/۱۹ **	۳۱۵/٦۹ *	٦٤۳/۲۱ **	٦۹۹/۲٤ *	۹۸۵/۲۸ *
خطا	٤۱/۸۳	۳٦/۳۸	۹۵/۱۰	۲۰/۳۸	۱۳۵/٤٦ ns ‡	۱۷٤/۱۲ ns ‡
CV%	**۱۳/۵۰**	**۱۷/٦٤**	**۱۵/۷۸**	**۱٦/۲۸**	**۱۲/۹٤**	۱٤/۵۵

ns ، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد می‌باشند.

† و ‡ : به‌ترتیب خطای سال و خطای رقم در تجزیه مرکب آزمایش می‌باشند.

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد کل علوفه‌تر (تن در هکتار) در ارقام مختلف سورگوم.

رقم	سال اول (۲dS/m)	سال اول (۱۱dS/m)	سال دوم (۲dS/m)	سال دوم (۱۱dS/m)	تجزیه مرکب (۲dS/m)	تجزیه مرکب (۱۱dS/m)
KFS_1	٦۵/۷۹ab	۵۲/۸۷ab	۵۹/۷۸ab	۱۸/۳۵d	٦۲/۷۸ab	۳۵/٦۱bcd
KFS_2	۷۷/٦۷ a	۵۵/۹۳ab	۷٦/۸٤a	٤۲/۹٤b	۷۷/۲۵a	٤۹/٤٤ab
KFS_3	۷٤/٦۷ab	۵۹/۰۰ a	۷۱/۷۷a	۵۲/۲۵a	۷۳/۲۲ab	۵۵/٦۳a
KFS_4	۷۲/۸۳ab	٤۹/٦۷ab	٦۷/۲۷ab	۲۹/۳۵c	۷۰/۰۵ab	۳۹/۵۱abc
MFS_1	۳۸/۵۷ c	۲۲/٦۷ c	۵۱/۷۲b	۱٤/۸۵d	٤۵/۱۵c	۱۸/۷٦d
MFS_2	۷۰/۳۳ab	۳۳/۳۳ c	۵۲/۵۹b	۲۰/۸۷d	٦۱/٤٦abc	۲۷/۱۰c
LFS_{56}	٦۳/۰۰ b	٤۵/۰۰ b	۵۲/۵۵b	۱۵/٤۸d	۵۷/۷۸bc	۳۰/۲٤d

شاخص‌های حساسیت و مقاومت به تنش: براساس شاخص‌های MP و Tol اگر رقمی دارای MP بالا و Tol کم باشد، آن رقم یا ژنوتیپ از لحاظ داشتن عملکرد بالا و نیز ثبات عملکرد، مناسب می‌باشد. بر این اساس رقم‌های KFS_2 و KFS_3 در هر دو سال آزمایش دارای MP بالایی بودند بنابراین می‌توان گفت که این دو رقم از لحاظ عملکرد دارای تولید بالاتری نسبت به بقیه هستند. از بین این دو، رقم KFS_3 دارای شاخص Tol کمتری است بنابراین می‌توان گفت که تغییرات عملکرد آن در شرایط تنش و غیرتنش کمتر از رقم KFS_2 بوده است و دارای ثبات عملکرد بیشتری می‌باشد. براساس این دو شاخص رقم KFS_4 نیز دارای MP نسبتاً بالایی بود ولی به‌دلیل داشتن تولید کم در

شرایط شور، شاخص Tol بالایی را داشت. رقم KFS_1 در سال اول آزمایش دارای مقادیر Tol کمتری بود و MP آن نیز نسبتاً بالا بود ولی در سال دوم آزمایش مقدار Tol آن زیاد گردید یعنی در سال دوم با شدیدتر شدن شدت تنش، میزان کاهش عملکرد بیشتری در شرایط شور نسبت به شرایط غیر شور داشت. ارقام LFS_{56} و MFS_2 نیز در سال اول آزمایش دارای MP نسبتاً بالایی بودند ولی در سال دوم آزمایش میانگین تولید آنها در شرایط شور و غیرشور (MP) کاهش یافت. این کاهش عملکرد آنها بیشتر برای شرایط غیرتنش اتفاق افتاد. در بین ارقام مورد بررسی براساس این دو شاخص رقم MFS_1 دارای MP پائین‌تری نسبت به بقیه بود، هر چند که اختلاف عملکرد آن نیز در شرایط شور و غیرشور زیاد نبود ولی به‌دلیل داشتن تولید کم رقم مناسبی نیست (جدول ٦ و٧). براساس شاخص‌های تحمل به تنش (STI) و حساسیت به تنش (SSI) نیز ارقامی مناسب هستند که دارای STI بالاتر و SSI کمتر باشند. بر همین اساس در سال اول آزمایش رقم‌های KFS_3 و KFS_2 دارای بالاترین مقدار STI بودند چرا که در هر دو شرایط تولید بالایی داشتند، ارقام KFS_1 و KFS_4 نیز دارای STI بالایی در سال اول بودند ولی این ارقام در سال دوم آزمایش نتوانستند در شرایط شور عملکرد بالایی را تولید کنند و در نتیجه مقدار STI کمتری برای آنها در سال دوم بدست آمد ولی ارقام KFS_3 و KFS_2 در سال دوم نیز نسبت به بقیه ارقام شاخص STI بالایی داشتند. براساس شاخص SSI در سال اول آزمایش کمترین مقدار آن مربوط به ارقام KFS_1 و KFS_3 بود ولی در سال دوم به‌دلیل تولید کم رقم KFS_1 در شرایط تنش، شاخص SSI آن زیاد گردید ولی رقم KFS_3 همچنان کمترین مقدار SSI را داشت (جدول ٦ و ٧). براساس این دو شاخص حساسترین ارقام در بین ارقام مورد آزمایش رقم‌های MFS_1، MFS_2 و LFS_{56} می‌باشند. بطور کلی می‌توان گفت که ارقام KFS_3 وKFS_2 مناسبترین ارقام از لحاظ پایداری عملکرد می‌باشند.

جدول ٦- شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش شوری ارقام مورد بررسی در سال اول آزمایش

رقم	Y_P	Y_s	MP	GMP	$Tol= Y_p - Y_s$	SSI	STI
KFS_1	٦٥/٨	٥٢/٩	٥٩/٣	٥٨/٨	١٢/٩	٠/٦٥	٠/٨٠
KFS_2	٧٧/٧	٥٥/٩	٦٦/٨	٦٥/٨	٢١/٧	٠/٨٩	٠/٩٩
KFS_3	٧٤/٧	٥٩/٠	٦٦/٨	٦٦/١	١٥/٧	٠/٦٥	١/٠١
KFS_4	٧٢/٨	٤٩/٧	٦١/٢	٦٠/٠	٢٣/٢	١/٠٠	٠/٨٣
MFS_1	٦٣/٠	٤٥/٠	٥٤/٠	٥٣/٢	١٨/٠	٠/٩١	٠/٦٥
MFS_2	٣٨/٦	٢٢/٧	٣٠/٦	٢٩/٤	١٥/٩	١/٣٤	٠/٢٠
LFS_{56}	٧٠/٣	٣٣/٣	٥١/٨	٤٨/٣	٣٧/٠	١/٦٨	٠/٥٣

جدول ٧- شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش شوری ارقام مورد بررسی در سال دوم آزمایش

رقم	Y_P	Y_s	MP	GMP	$Tol= Y_p - Y_s$	SSI	STI
KFS_1	٥٩/٨	١٨/٣	٣٩/١	٣٢/٩	٤١/٤	١/٢	٠/٢٨
KFS_2	٧٦/٨	٤٢/٩	٥٩/٩	٥٧/٤	٣٣/٩	٠/٨	٠/٨٧
KFS_3	٧١/٨	٥٢/٢	٦٢/٠	٦١/٢	١٩/٥	٠/٥	٠/٩٨
KFS_4	٦٧/٣	٢٩/٣	٤٨/٣	٤٤/٣	٣٧/٩	١/٠	٠/٥٢
MFS_1	٥٢/٥	١٥/٥	٣٤/٠	٢٨/٢	٣٧/١	١/٢	٠/٢١
MFS_2	٥١/٧	١٤/٨	٣٣/٣	٢٧/٣	٣٦/٩	١/٣	٠/٢٠
LFS_{56}	٥٢/٦	٢٠/٩	٣٦/٧	٣٣/٠	٣١/٧	١/١	٠/٢٩

منابع

Anagholi, A. 2008. Salinity tolerance indexes in three cotton cultivars (*Gossypium hirsutum* L.). J. Agric. Sci. Natur. Resour. 15(3): 90-97.

Banaei, M.H. Moameni, A., Bybordi, M. and Malakouti, M.J. 2005. The soils of Iran. New achievement in perception, management and use. Soil and Water Res Ins. Iran. Sana Pub.

Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Adatation of food crop temperature and water stress. E. G. Kus (ed). Pp: 257-270. Asian Vegetable Research and Department Center, Shanhua, Taiwan.

Fischer, R.A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I.grain yield responses. Aust. J. Agric. Res. 29: 897- 917.

Francois, L.E., Donovan, T.J. and Maas, E.V. 1984. Salinity effects on seed yield, growth and germination of grain sorghum. Agron. J. 76: 741–744.

Maas, E.V., and Hoffman, G.J. 1977. Crop salt tolerance–current assessment. Journal of Irrigation and Drainage. Div. ASCE. 103:115– 134.

Maas, E.V., Hoffman, G.J., Chaba, G.D., Poss, J.A., and Shannon, M.C. 1983. Salt sensitivity of corn at various growth stages. Irrig. Sci. 4: 45 – 57.

Maas, E.V., Poss, J.A., and Hoffamn, G.J. 1986. Salinity sensitivity of sorghum at three growth stages. Irri. Sci. 7: 1–11.

Naderi, A., Majidi Hervan, E., Hashemi Dezfuli, A., Rezaei, A. and Nor-Mahamadi, G. 2000. Efficiency analysis of indices for tolerance to environmental stresses in field crops and introduction of a new index. Seed. Plant. 15: 390-402.

Rahimi, A. and Chaichi, M.R. 2005.Evaluation of NaCl priming and salinity levels on germination trait in three cultivars of sorghum (*Sorghum harpensis*). First national forage crops congress of Iran. Abouryhan Campus- University of Tehran.pp.160.

Rosielle, A.A., and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspect of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Sci. 21: 943 – 946.

Sunseri, F., Palazzo, D., Montemurro, N. and Montemurro, F. 2002. Salinity tolerance in sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench): Field performance under salt stress. Ital. J. Agron. 2: 111 – 116.

Tajbakhsh, M. and Sadeghi, A. 1999. Effects of saline stress resulted from sodium chloride on cell membranes and embryo of different barley cultivars. Seed. Plant. 15: 251-261.

Taylor, R.M., Young, E.F. and Rivera, R.H. 1975. Salt tolerance in cultivars of grain sorghum. Crop Sci. 15: 735-740.

EJCP., Vol. 3 (1): 89-102
www.ejcp.info

Evaluation of salinity tolerance of forage sorghum varieties with stress tolerance and susceptibility indices

A. Anagholi[1], S.A. Tabatabaee[2] and A. Foman[3]
[1]Scientific member of National Salinity Research Center, [2]Scientific member of Agricultural Research and Natural Resources of Yazd Province, [3]Scientific member of Mays and Forage Sorghum Department of Seed and Plant Improvement Institute

Abstract

The objective of this study was evaluation of salt tolerance of elite forage sorghum lines in laboratory and field conditions. Salinity treatments were 5, 10, 15, 20, 25, 30 decisimens per meter in laboratory and distilled water as control. Lines were KFS_1, KFS_2, KFS_3, KFS_4, MFS_1, MFS_2 and LFS_{56}. The lines also cultivated in saline and non saline field conditions during 2004-2005. Electrical conductivity of irrigation water was 2 and 11 decisimens per meter in non saline and saline conditions. Results showed that T_{50} (days until 50% germination) increased as salinity increased. The salinity threshold value at germination stage regardless to lines was 8.37 $dS.m^{-1}$ with slop of 1.6%. Upon field experiment, the KFS_2 line produced the maximum of 77.25 $ton.ha^{-1}$ fodder yield in non saline condition, followed by KFS_3 and KFS_4 lines. The KFS_3 line also produced the maximum fodder yield of 55.63 $ton.ha^{-1}$ in saline condition. Total fodder yield of KFS_2 line was 49.44 $ton.ha^{-1}$ in this condition. At all, KFS_3 and KFS_3 are the sustainable lines on upon of susceptible and tolerant indices.

Keywords: Yield Stability; Salinity Stress; Sorghum.

*- Corresponding Author; Email: anagholi@Yahoo.com