تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences

مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی
جلد هشتم، شماره اول، نیمه‌اول ۹۴
۱-۱۱

دانشگاه بیرجند
دانشکده کشاورزی

بررسی رابطه صفات ریشه با عملکرد دانه گندم در شرایط بدون تنش و تنش خشکی آخر فصل

الهام کلاهیان همدانی‌زاد[۱]، حسینعلی رامشینی[۲*]، محمد قادر قادری[۳]، مهدی فاضل نجف آبادی[۴]

۱ . دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات
۲. استادیار، پاکدشت، دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات
۳. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
۴. استادیار، پاکدشت، پردیس ابوریحان، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۲/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۲۴

چکیده

ازآنجاکه بیشتر بارندگی‌ها در ایران در زمستان و آغاز بهار رخ می‌دهد، گندم به‌ویژه در کشت دیم بیشتر وابسته به رطوبت نگهداری شده در اعماق خاک خواهد بود. به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌هایی که دارای گسترش مناسب ریشه در عمق خاک باشند، آزمایشی با ۶۳ ژنوتیپ گندم نان در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی به‌صورت کشت در لوله‌های پی‌وی‌سی انجام شد. در شرایط بدون تنش آبیاری به‌صورت معمولی و در تنش خشکی پس از رسیدن رطوبت خاک به ۳۰ درصد ظرفیت زراعی گیاهان آبیاری شدند. پس از اعمال تنش و در پایان دوره رشد صفات مرتبط با ریشه در چهار عمق مختلف (۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰ و ۱۰۰-۶۰ سانتی‌متر) به همراه صفات مرفولوژی، عملکرد و اجزای آن اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان‌دهنده تنوع بالا میان ژنوتیپ‌ها برای همه صفات اندازه‌گیری شده بود. همبستگی بالا و معنی‌داری میان وزن خشک ریشه با عملکرد در شرایط تنش دیده شد (p=۰/۰۱، r= ۰/۵۸). در این شرایط با هر واحد افزایش در وزن خشک ریشه، ۰/۲۴ گرم به عملکرد دانه افزوده شد. تجزیه همبستگی جداگانه برای هر عمق نشان داد که در پایین‌ترین عمق تأثیر وزن خشک ریشه بر عملکرد (p =۰/۰۱، r=۰/۷۵) بیشتر از سایر عمق‌ها است. در شرایط تنش تأثیر وزن ریشه در عمق ۱۰۰-۶۰ سانتی‌متر بر عملکرد دانه مثبت و بسیار معنی‌دار بود. ژنوتیپ‌های سرداری، شعله، ناز و اینیا به ترتیب با ۰/۴۴، ۰/۳۹، ۰/۳۷ و ۰/۳۷ گرم در گیاه بهترین ژنوتیپ‌ها برای وزن خشک ریشه در این عمق بودند.

***واژه‌های کلیدی*: اجزای عملکرد گندم، محتوای نسبی آب برگ، گسترش ریشه، وزن خشک ریشه.**

مقدمه

گندم نان (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم‌ترین منابع پروتئین و انرژی در دنیا بوده (Harlan 1998) و مهم‌ترین گیاه زراعی ایران است. میانگین بارندگی در ایران ۲۴۱ میلی‌متر در سال بوده و بیش از نیمی از کشور بارندگی کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر و بیش از سه‌چهارم کشور نیز بارندگی کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر دریافت می‌کند (Dinpashoh et al., 2004). گندم در مناطق گوناگون دنیا کشت می‌شود و در مناطق مشابه ایران این گیاه در طول دوره رشد در یک مرحله یا بیش از یک مرحله تنش خشکی را تجربه می‌کند. گندم زمستانه در طی فصل رشد نزدیک به ۴۰۰ میلی‌متر بارندگی نیاز دارد (Zhang et al., 1999).

کمبود آب یا تنش خشکی زمانی رخ می‌دهد که آب کافی برای رشد طبیعی گیاه در اختیار نباشد. زمانی که خشکی غیرقابل‌پیش‌بینی وجود داشته باشد و میزان بارندگی‌ها به‌اندازه کافی در اختیار نباشد گیاهان نمی‌توانند با موفقیت رشد خود را کامل کنند و به همین خاطر عملکرد دانه کاهش می‌یابد (Kusaka et al., 2005). در مناطقی مانند ایران که بیشتر بارندگی‌ها در زمستان و آغاز بهار رخ می‌دهد گیاهان در پایان فصل رشد با کمبود آب و درنتیجه تنش خشکی برخورد خواهند کرد. در چنین شرایطی به‌ویژه

نگارنده پاسخگو: حسینعلی رامشینی. پست الکترونیک: ramshini_h@ut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

گندم دیم بیشتر وابسته به رطوبت نگهداری شده در اعماق خاک خواهد بود چراکه بارندگی‌ها خیلی زود کاهش‌یافته و رطوبت سطحی خاک توسط گیاه مصرف‌شده و یا با تبخیر از سطح خاک از دست می‌رود (Wasson et al., 2012).

روش‌های زراعی مختلفی که بتوانند اندازه آب اعماق خاک را افزایش داده و نگهداری کنند به همراه ارقام اصلاح‌شده‌ای که بتوانند از این رطوبت استفاده کنند می‌توانند از کاهش عملکرد در شرایط تنش خشکی جلوگیری نمایند (Kirkegaard and Hunt 2010). یک رویکرد جهت مقابله با تنش خشکی تولید ژنوتیپ‌های زودرس است اما این راهکار باید با احتیاط انجام شود زیرا همبستگی بالایی بین دوره رشدی گیاه و میزان عملکرد دانه گزارش‌شده است (Blum, 2011). به دلیل این اشکال گزینش گیاهان زودرس به‌عنوان تنها راهکار افزایش تحمل به تنش خشکی منطقی به نظر نمی‌رسد و بهتر است روش‌های دیگر برای جلوگیری از کاهش عملکرد در شرایط تنش خشکی پایان دوره رشد دنبال شود. همچنین تمرکز بر صفت عملکرد دانه در آزمایش‌هایی که در یک ناحیه یا یک‌زمان انجام می‌شوند به دلیل برهمکنش بالای میان ژنوتیپ و محیط رشد گیاه کافی نیست. بنابراین سفارش شده است که برای موفقیت بیشتر به نژادی تحمل به تنش خشکی بهتر است علاوه بر عملکرد، بر سازگاری‌های فیزیولوژیک و صفات مؤثر بر عملکرد نیز تکیه شود (Christopher, 2010).

اندازه‌گیری‌ها نشان داده که حتی در شرایط تنش خشکی شدید مقدار قابل‌توجهی رطوبت در اعماق خاک وجود دارد که با اصلاح صفاتی مانند افزایش نفوذ و گسترش ریشه می‌توان از آن بهره گرفت (Passioura, 2006). گیاهانی که بتوانند از این رطوبت بهره ببرند در این شرایط موفق هستند به‌طوری‌که در شرایط تنش خشکی طول و گسترش ریشه اثر مثبت بر عملکرد خواهد داشت (Kulkarni and Phalke, 2009; Lopes and Reynolds, 2010). پژوهش‌های مدل‌سازی و شبیه‌سازی نشان داده‌اند که ریشه‌های عمیق می‌توانند به‌طور قابل‌توجهی عملکرد دانه را در شرایط تنش افزایش دهند. در نقطه مقابل درصورتی‌که بارندگی‌های کم در پایان فصل رشد وجود داشته باشند ریشه‌های گسترده و سطحی مفیدتر خواهند بود (Manschadi et al. 2010).

تحقیقات زیادی در موردمطالعه ساختار ریشه و تأثیر آن بر عملکرد در شرایط تنش خشکی انجام‌شده است. مک کنزی و همکاران (McKenzie et al. 2009) از یک روش ابتکاری برای دسترسی ریشه گیاه جو به آب زیرسطحی در طی یک‌فصل تابستان خشک استفاده کردند. به‌این‌ترتیب که در عمق ۲۰ سانتی‌متری نایلونی ویژه که تنها برای رطوبت و گاز نفوذپذیر بود پهن کردند تا نفوذ ریشه را محدود کنند. سپس در سطح نایلون به نسبت‌های گوناگون برای نفوذ ریشه، سوراخ‌هایی در واحد سطح ایجاد کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که در تیمارهایی که گیاهان دسترسی کامل به آب زیرسطحی داشتند در مقایسه با گیاهانی که دسترسی آن‌ها به آب زیرسطحی محدودشده بود زیست‌توده‌ی بسیار بیشتری تولید شد. در مطالعه‌ای که رینولدز و همکاران (Reynolds et al. 2007) انجام دادند خویشاوندان وحشی و ارقام بومی گندم را ازنظر مقاومت به خشکی با ارقام تجاری مقایسه کردند. نتیجه این تحقیق نشان داد بخشی از برتری خویشاوندان وحشی و ارقام بومی ازنظر تحمل به خشکی نسبت به ارقام تجاری این است که این ژنوتیپ‌ها در عمق ۶۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متر تراکم ریشه بیشتری دارند و بنابراین می‌توانند رطوبت را از این عمق دریافت کرده و به خشکی تحمل بیشتری نشان دهند. در آزمایشی که لوپز و رینولدز (Lopes and Reynolds 2010) بر روی فرزندان به‌دست‌آمده از تلاقی Seri/Babax در گیاه گندم در شرایط نرمال و تنش خشکی انجام دادند، با ارزیابی صفات گوناگون ازجمله وزن ریشه در اعماق گوناگون مشخص شد که وزن بالای ریشه در اعماق در لینه های مقاوم دلیل مهم مقاومت به خشکی و پایین بودن دمای کانوپی در شرایط تنش خشکی بوده است. همچنین لینه هایی که وزن خشک ریشه آن‌ها در اعماق خاک بالاتر بوده دارای عملکرد بیشتری نیز بوده‌اند.

کشت گیاهان در لوله‌های PVC راه ساده برای غربال گسترده تعداد زیادی ژنوتیپ برای اندازه‌گیری صفات مرتبط با ریشه است (Kashiwagi et al., 2006). به دلیل اهمیت این صفت در سازگاری گیاهان به تنش خشکی، غربال ژنوتیپ‌ها برای شناسایی ارقام مناسب ازنظر این صفات می‌تواند برای اصلاح تحمل به تنش خشکی سودمند باشد. بنابراین هدف از این پژوهش غربال تعداد ۶۳ ژنوتیپ گندم نان برای شناسایی بهترین ژنوتیپ‌ها ازنظر صفات ریشه و پیدا کردن ارتباط بین این صفات و میزان عملکرد بود. این

Archive of SID

www.SID.ir

ژنوتیپ‌ها ارقام متفاوت تجاری و بومی هستند که در طی ۸۰ سال گذشته در کشور کشت‌شده و بسیاری از آن‌ها هم‌اکنون نیز کشت می‌شوند.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران در سال زراعی ۹۱-۹۰ انجام گرفت. ۶۳ ژنوتیپ گندم نان در این پژوهش استفاده شدند که برخی از این ژنوتیپ‌ها در حال حاضر در کشور کشت می‌شوند، برخی نیز از ارقام قدیمی بوده که با هدف شناسایی منابع ژنتیکی مقاومت در این آزمایش استفاده شدند و برخی نیز ژنوتیپ‌های خارجی بودند (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات ژنوتیپ‌های به‌کاررفته در آزمایش مطالعه ویژگی‌های ریشه گندم نان. مشخصات افتراقی بسیاری از این ژنوتیپ‌ها پیش از این گزارش‌شده است (Najafian et al. 2008). برخی از ژنوتیپ‌های به‌کاررفته یا با مکاتبه شخصی به‌دست‌آمده‌اند یا ارقام بومی بوده و مشخصات دقیقی از آن‌ها در دسترس نیست.

Table 1. Description of genotypes used in the study of root characteristics in bread wheat. These descriptions have already reported (Najafian et al. 2008). Some genotypes were prepared by personal contact and some are landraces so their precise descriptions are not available.

شماره	نام	عادت رشد	زمان گلدهی	سال آزادسازی	شماره	نام	عادت رشد	زمان گلدهی	سال آزادسازی
No.	**Name**	**Growth habit**	**Flowering time**	**Releasing date**	**No.**	**Name**	**Growth habit**	**Flowering time**	**Releasing date**
1	Akbari	spring	medium	1993	33	Kavir	spring	early	1997
2	Alborz	spring	early	1978	34	Koohdash	-	early	1991
3	Alvand	facultative	early	1995	35	Mahdavi	facultative	early	1995
4	Arta	spring	early	1993	36	Maroon	spring	early	1991
5	Arvandmo	-	medium	-	37	Marvdash	spring	early	1999
6	Atrak	spring	medium	1995	38	Moghan1	spring	early	1973
7	Azadi	spring	medium	1979	39	Moghan2	spring	medium	1974
8	Azar1	-	medium	-	40	Moghan3	spring	medium	2006
9	Azar2	winter	medium	1999	41	Naaz	-	early	1978
10	Bahar	spring	early	2007	42	Niknejad	spring	early	1995
11	Bayat	spring	early	1976	43	Pishtaz	spring	medium	2002
12	Bolani	-	early	-	44	Rasool	spring	early	1992
13	C_alborz	-	early	-	45	Roshan	facultative	medium	1958
14	C_falathamoon	spring	early	-	46	Sabalan	winter	medium	1981
15	C_Rosh_Spring	spring	early	1998	47	Sardari	winter	medium	1939
16	C_Rosh_Winter	winter	early	1998	48	Sepahan	spring	early	2006
17	Chamran	spring	early	1997	49	Shahi	-	medium	1965
18	Darab2	-	early	-	50	Shahriar	winter	early	2002
19	Darya	spring	early	1995	51	Shiraz	spring	medium	2002
20	Dez	-	early	1996	52	Shiroodi	spring	early	1997
21	DN_11	spring	early	2002	53	Shole	spring	early	1957
22	Excalibe	spring	early	1991	54	Sistan	spring	medium	2006
23	Fong	-	early	-	55	Somali	-	medium	-
24	Frontana	spring	early	-	56	Star	spring	early	1995
25	Gamptos-R	-	early	-	57	Tabasi	facultative	medium	1951
26	Gamptos-S	-	early	-	58	Tajan	facultative	early	1995
27	Ghafghaz	-	early	-	59	Toos	winter	medium	2002
28	Ghods	spring	early	1989	60	Verinak	spring	early	1995
29	Hamoon	spring	early	2002	61	Zagros	-	early	1996
30	Hirmand	spring	early	1991	62	Zarin	facultative	early	1995
31	Inia	spring	early	1968	63	WS_82_9	-	early	
32	Karkhe	spring	medium	2003					

Archive of SID

www.SID.ir

آزمایش رشد گیاه در لوله‌های پی‌وی‌سی آزمایش به‌صورت مرکب در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی انجام شد. طرح آزمایشی برای هر شرایط به‌صورت بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. ژنوتیپ‌ها در گلدان‌های نایلونی که در لوله‌های پی‌وی‌سی (قطر ۱۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۱۰ سانتی‌متر) قرار گرفتند، بر اساس مطالعه‌هایی که در گذشته در این زمینه انجام‌شده بود کشت شدند (Blum, 2011). این لوله‌ها با میله‌هایی که به‌صورت عمودی در زمین قرارگرفته بودند ثابت شدند. بافت خاک به‌کاررفته لوم سیلتی و نسبت رس، سیلت و شن به ترتیب برابر ۲۵، ۵۰ و ۲۵ درصد بود. فاصله بین لوله‌ها ۵ و بین بلوک‌ها ۲۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد. در هر گلدان سه بذر کشت‌شده که پس از جوانه‌زنی تعداد گیاهان تنک شده و به ۲ گیاه در هر گلدان کاهش یافت. گلدان‌ها پس از کاشت بذر با میزان یک لیتر آب شهری آبیاری شدند (شوری برابر با dSm^{-1} ۱/۸). آبیاری‌های بعدی به‌صورت طبیعی و هر ۵ روز یک‌بار برای هر دو شرایط تنش و بدون تنش انجام گرفت تا از هرگونه تنش ناخواسته جلوگیری شود. گیاهان در شرایط بدون تنش تا پایان آزمایش به‌صورت طبیعی هر ۵ روز آبیاری شدند اما برای شرایط تنش، در آغاز مرحله گلدهی قطع آبیاری تا رسیدن میزان آب به ۳۰ درصد ظرفیت زراعی انجام گرفت. برای تعیین این نقطه روش وزنی به کار رفت. برای تعیین زمان آبیاری برای هر بلوک دو گلدان به‌عنوان شاهد در نظر گرفته‌شده و وزن خاک خشک در این گلدان‌ها اندازه‌گیری شد. سپس آبیاری در غروب انجام‌شده و صبح روز بعد وزن گلدان‌ها مشخص گردید تا به‌این‌ترتیب میزان آب ظرفیت زراعی مشخص شود. سپس با روش وزن کردن مشخص می‌شد که چه میزان آب در هر گلدان وجود دارد. شش گلدان برای این منظور (دو گلدان برای هر بلوک) وزن شده و میانگین آن‌ها به‌عنوان معیار برای اعمال تنش استفاده شد. درصد رطوبت برای ظرفیت زراعی ۴۲ درصد (وزن/وزن) و برای ۳۰ درصد ظرفیت زراعی ۱۳ درصد (وزن/وزن) به دست آمد. تا زمان رسیدگی به همین روش دو بار تنش اعمال گردید، به بیانی دیگر گیاهان در شرایط تنش، دو بار تنش را تجربه کردند به‌طوری‌که برای تنش نخست آبیاری پس از ۱۲ روز و برای تنش دوم پس از ۱۰روز انجام گرفت. در شرایط تنش در زمان پیش از پژمردگی شدید و آبیاری مجدد میزان RWC با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (Kusaka et al., 2005):

$$RWC(\%)=\frac{FW-DW}{TW-DW}\times 100 \qquad [۱]$$

که در آن FW وزن برگ‌های تازه بریده‌شده از گیاه ، TW وزن برگ‌های بریده‌شده پس از قرار گرفتن در آب مقطر برای ۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و DW وزن خشک همان برگ‌ها پس از نگهداری در دمای ۸۰ درجه به مدت ۷۲ ساعت است.

تاریخ گلدهی بر مبنای روز از تاریخ کاشت تا ظهور گل‌ها در سنبله به‌صورت روزانه یادداشت برداری شد.

اندازه‌گیری صفات مرفولوژی و صفات مرتبط با ریشه پس از رسیدگی، گیاهان از سطح خاک برداشت و ارتفاع (سانتی‌متر)، وزن زیست‌توده اندام هوایی (گرم)، تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه (گرم) و عملکرد دانه (گرم در گیاه) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری صفات ریشه در عمق‌های مختلف، گلدان‌های نایلونی به چهار بخش ۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰ و ۱۰۰-۶۰ سانتی‌متر برش داده‌شده و ریشه‌ها همراه با خاک چسبیده به آن بر روی تور سیمی قرارگرفته و با مقدار زیادی آب به‌آرامی شسته شدند تا خاک به‌طور کامل از ریشه‌ها جدا گردد (Kashiwagi et al., 2006). آنگاه طول ریشه در هر نیم‌رخ اندازه‌گیری شده و نمونه‌های ریشه دربسته‌های کاغذی جای گرفته و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد ساعت قرار گرفت تا به‌طور کامل خشک شوند. سپس وزن خشک هر بخش (گرم در گلدان) با ترازوی دقیق مشخص شد. برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

نتایج و بحث

تنوع در صفات مرفولوژی و وزن خشک ریشه میان ژنوتیپ‌ها نتایج تجزیه واریانس مرکب برای مهم‌ترین صفات اندازه‌گیری شده در این آزمایش در جدول ۲ نشان داده‌شده است. برهمکنش میان ژنوتیپ و شرایط رشدی برای همه صفات به‌جز وزن خشک زیست‌توده اندام هوایی، معنی‌دار بود. این بدان معنی است که پاسخ ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی یکسان نبوده و میزان کاهش ارزش صفات در اثر تنش خشکی برای برخی از ژنوتیپ‌ها بیشتر از برخی دیگر بوده است. همچنین بین ژنوتیپ‌ها ازنظر همه صفات اندازه‌گیری شده تفاوت معنی‌دار وجود داشت که

Archive of SID

www.SID.ir

نشان‌دهنده تنوع ژنتیکی بالا ازنظر صفات اندازه‌گیری شده درمجموعه ژنوتیپ‌ها است.

در این آزمایش وزن خشک ریشه در عمق‌های مختلف خاک در ۶۳ ژنوتیپ به‌طور چشمگیری متفاوت بود. بیشترین وزن خشک ریشه در آزمایش بدون تنش برابر ۸/۸۸ گرم برای ژنوتیپ اکبری و پس‌ازآن برای سرداری با۵/۹ گرم بود. ژنوتیپ ناز دارای کمترین وزن خشک ریشه در شرایط بدون تنش بود (۰/۷۵ گرم در هر گلدان). در آزمایش تنش ژنوتیپ اکبری دارای بیشترین وزن خشک ریشه با مقدار ۷/۸ گرم در هر گلدان بود. کراس البرز، شعله، Gamptus_R، استار و پیشتاز پس از اکبری دارای بیشترین مقدار وزن خشک ریشه در شرایط تنش خشکی بودند (شکل ۱). در این شرایط آرتا و فرونتانا دارای کمترین وزن خشک ریشه به ترتیب با میزان ۱/۵۳ و ۱/۵۸ گرم بودند. لیو و همکاران (Liu et al., 2004) آزمایشی با گلدان‌های لوله‌ای شکل برای دو رقم چینی گندم بهاره انجام دادند. در آزمایش آن‌ها دامنه وزن خشک ریشه از ۱/۴۵ تا ۱/۹۴ برای هر گیاه بین ژنوتیپ‌های مختلف و شرایط رشدی گوناگون متفاوت بود (Liu et al., 2004). بیشترین وزن خشک ریشه در ژنوتیپ اکبری برابر ۷/۸ گرم در گلدان برای شرایط تنش خشکی بود که با توجه به اینکه در هر گلدان دو گیاه وجود داشت برابر ۳/۹ گرم به ازای هر گیاه می‌شود.

جدول ۲. میانگین مربعات تجزیه واریانس مرکب برای وزن خشک ریشه در عمق cm ۲۰-۰ (R_1)، ۴۰-۲۰cm (R_2)، ۶۰-۴۰cm (R_3)، ۱۰۰-۶۰ cm (R_4)، وزن خشک کل ریشه، طول ریشه، وزن خشک زیست‌توده، عملکرد دانه، تعداد سنبله در گیاه، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، ارتفاع گیاه، روز تا گلدهی و محتوای نسبی آب برگ اندازه‌گیری شده در شرایط تنش خشکی و بدون تنش برای ۶۳ ژنوتیپ گندم نان.

Table 2. Mean squares of combined ANOVA for root dry weight in 0-20 cm (R_1), 20-40 cm (R_2), 40-60 cm (R_3), 60-100 cm (R_4) of soil depth, total root dry weight, root length, shoot dry biomass, grain yield, number of spikes, number of seeds in spike, thousand grain weight, plant height, days to flowering and relative water content (RWC) measured under stress and non-stress conditions for 63 bread wheat genotypes.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	R_1	R_2	R_3	R_4	وزن خشک کل ریشه Root dry weight	طول ریشه Root length	وزن خشک زیست‌توده Shoot dry biomass
شرایط محیطی Environment	1	84.88**	1.783*	0.726*	0.684**	149.53**	1442.9*	701.44*
تکرار درون شرایط محیطی Environment (replications)	4	2.62	0.142	0.056	0.011	4.760	102.4	98.49
ژنوتیپ Genotype	62	5.12**	0.249**	0.081**	0.042**	8.043**	119.2**	11.85**
ژنوتیپ در شرایط محیطی Genotype *Environment	62	3.21**	0.179**	0.077**	0.043**	5.421**	104.6**	8.86 ns
خطای b Error b	248	0.30	0.028	0.009	0.002	0.475	22.9	6.67

Archive of SID

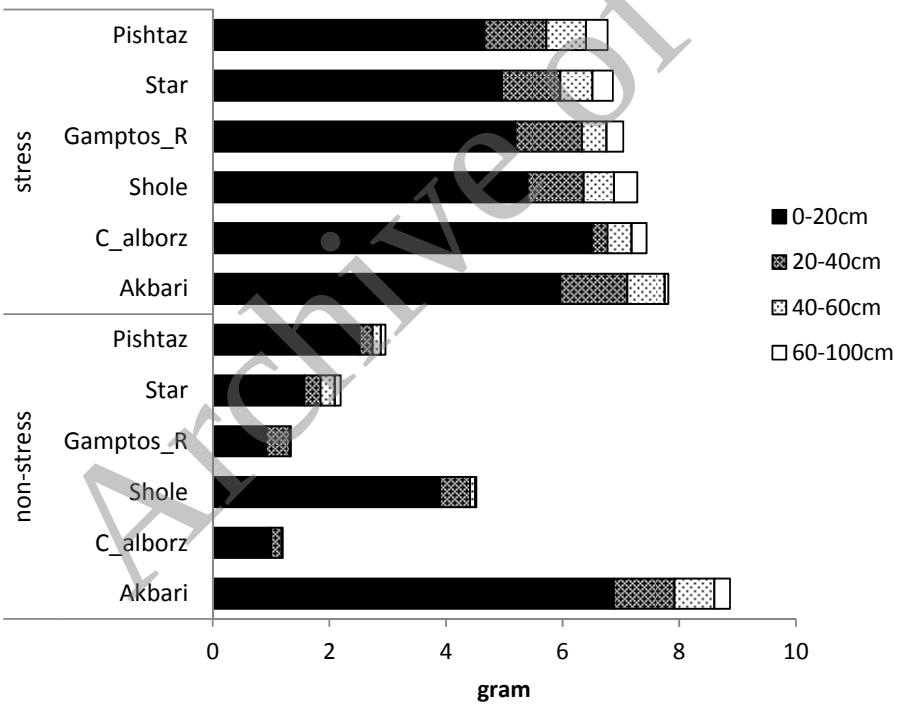
www.SID.ir

Table 2. Continued **جدول ۲. ادامه**

S.O.V منابع تغییر	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	تعداد سنبله در گیاه No. of spikes	تعداد دانه در سنبله Seeds no. in spike	وزن هزار دانه Thousand weight	ارتفاع Plant height	روز تا گلدهی Days to flowering	محتوای نسبی آب برگ Relative water content
شرایط محیطی Environment	1	236.08**	190.40^{ns}	352.08^{ns}	4315.33**	2909.19*	2.03^{ns}	119108**
تکرار درون شرایط محیطی Environment (replications)	4	7.35	28.86	119.28	37.95	198.84	49.42	55
ژنوتیپ Genotype	62	2.28**	2.91*	128.32**	57.07**	293.05**	98.71**	77**
ژنوتیپ در شرایط محیطی Genotype *Environment	62	2.01*	2.42^{ns}	58.46*	29.93**	54.96**	16.22 ^{ns}	63**
خطای b Error b	248	1.39	2.05	42.27	16.08	32.10	12.14	30.21

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۰/۰۵، ۰/۰۱ و غیر معنی‌دار

*,** and ns : significant at p=0.05, 0.01 and non significant, respectively



شکل ۱. وزن خشک ریشه در عمق‌های مختلف برای شش ژنوتیپی که در شرایط تنش دارای بیشترین وزن خشک ریشه بودند. وزن خشک ریشه برای همین ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش نیز مشخص‌شده است. در همه ژنوتیپ‌ها به‌جز ژنوتیپ اکبری وزن خشک ریشه در شرایط تنش افزایش نشان می‌دهد.

Fig. 1. Root dry weight in different depths for six genotypes with highest root dry weight under stress condition. Root dry weight in different depths for the same genotypes is shown under non-stress condition. In all genotypes except Akbari root dry weight has increased under stress condition.

Archive of SID

www.SID.ir

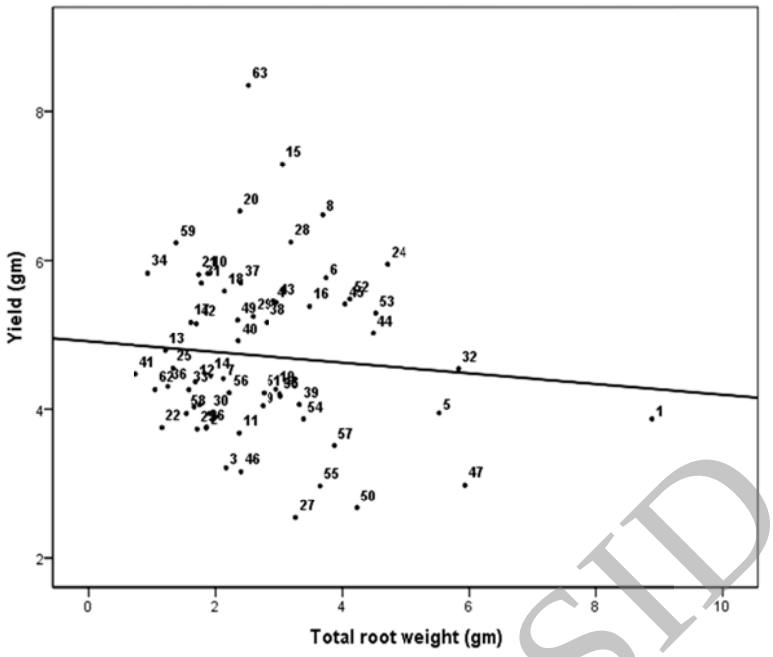
در هر دو آزمایش وزن خشک ریشه با افزایش عمق کاهش نشان داد. بیشترین وزن خشک ریشه در عمق ۲۰-۰ خاک بود که با نتایج دیکین و رایت (Dickin and Wright, 2008) مطابقت دارد. ریشه عمیق‌تر می‌تواند آب را در دوره خشکی از خاک بیرون کشیده و در اختیار گیاه قرار دهد. درحالی‌که ریشه‌های زیرسطحی می‌توانند آب به‌دست‌آمده از بارندگی‌های پراکنده‌ای که با فراوانی کم در پایان دوره رشد رخ می‌دهد را در اختیار گیاه قرار دهند. وزن خشک ریشه در شرایط تنش بیشتر از شرایط بدون تنش بود (شکل ۱). به‌طوری‌که در شرایط تنش خشکی میانگین وزن ریشه نسبت به شرایط بدون تنش ۴۶ درصد افزایش نشان داد. در مطالعه‌ای که بر روی تأثیر ویژگی‌های ریشه بر میزان عملکرد و صفات دیگر در گندم نان انجام گرفت میزان افزایش وزن خشک ریشه در رگه‌های مختلف در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش از ۲۱ تا ۵۲ درصد گزارش شد (Reynolds et al., 2007). در آزمایش تنش خشکی در نیم‌رخ ۲۰-۰ سانتیمتر بیشترین میزان وزن خشک ریشه برای کراس البرز (۶/۵ گرم) به دست آمد. در عمق ۴۰-۲۰ سانتیمتر تجن، داراب ۲ و اکبری دارای بیشترین مقدار وزن خشک بودند که از ۱/۳۷ تا ۱/۱۴ گرم متغیر بود. در پایین‌ترین عمق (۱۰۰ تا ۶۰ سانتیمتر) ژنوتیپ سرداری و شعله دارای بیشترین مقدار وزن خشک ریشه بودند (به ترتیب ۰/۴۴ و ۰/۳۹ گرم). مطالعه‌های گذشته نشان داده‌اند که در شرایط تنش خشکی همبستگی بالایی میان تراکم ریشه بین آزمایش گلدان‌های لوله‌ای و آزمایش مزرعه وجود دارد (Kashiwagi et al., 2006) بنابراین بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این آزمایش می‌توان ژنوتیپ‌هایی را گزینش کرد که سامانه ریشه‌ای خوب داشته و بتوانند عملکرد خوبی در مزرعه نیز داشته باشند.

تأثیر وزن خشک ریشه بر عملکرد دانه برای اطمینان از انتخاب ژنوتیپ‌ها باید نتایج مربوط به تأثیر ریشه بر میزان عملکرد بررسی شود. پس از محاسبه همبستگی مشخص شد میانگین وزن خشک ریشه و وزن ریشه در نیم‌رخ‌های مختلف خاک با عملکرد و برخی صفات دیگر رویشی در شرایط تنش همبستگی دارند. شکل ۲ و ۳ ارتباط میان وزن خشک کل ریشه و عملکرد دانه برای دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی را نشان می‌دهد. همبستگی میان این دو صفت در شرایط بدون تنش برابر ۰/۰۹- بوده که معنی‌دار نبود. این در حالی است که در شرایط تنش خشکی این همبستگی بسیار معنی‌دار بود ($p<0/01$ ، $r= 0/58$). با افزایش یک واحد (گرم) در وزن خشک ریشه بیش از ۰/۲۴ گرم افزایش در عملکرد دیده شد. ژنوتیپ‌های کراس البرز، شعله، Gamptus_R، استار و اکبری دارای بیشترین وزن خشک کل ریشه در شرایط تنش خشکی بودند. ژنوتیپ اکسکلیبر یک ژنوتیپ متحمل به تنش خشکی است (Izanloo et al., 2008) و در این آزمایش عملکرد آن برابر ۳/۴۴ گرم بود که بیشتر از میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در این شرایط به دست آمد اگرچه ازنظر وزن خشک ریشه جز بهترین ژنوتیپ‌ها نبود. تنها وزن خشک ریشه نیست که در عملکرد دانه اهمیت دارد بلکه پراکنش آن در عمق‌های مختلف خاک نیز از اهمیت زیادی برخوردار است. تحقیقات گذشته نشان داده‌اند که سامانه ریشه‌ای عمیق‌تر تأثیر بیشتری بر عملکرد خواهند داشت (Jongrungklang et al., 2012).

همبستگی معنی‌داری میان وزن خشک ریشه در عمق‌های مختلف با عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی وجود داشت. همبستگی میان وزن خشک ریشه در عمق ۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰ و ۱۰۰-۶۰ سانتیمتر با عملکرد دانه برای شرایط بدون تنش به ترتیب برابر ۰/۰۳، ۰/۲۵- ($p<0.05$)، ۰/۱۱- و ۰/۰۸- بود. بنابراین در شرایط بدون تنش نه‌تنها همبستگی مثبت و معنی‌دار بین وزن خشک ریشه در اعماق مختلف با عملکرد مشاهده نگردید بلکه در عمق ۴۰-۲۰ سانتیمتر همبستگی منفی معنی‌دار بود. این در حالی است که در شرایط تنش خشکی بین وزن خشک ریشه در عمق ۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰ و ۱۰۰-۶۰ سانتیمتر به ترتیب همبستگی‌های ۰/۵۳، ۰/۳۱، ۰/۵۵ و ۰/۷۵ با عملکرد مشاهده شد که این همبستگی‌ها در عمق ۴۰-۲۰ معنی‌دار ($p<0.05$) و در بقیه عمق‌ها بسیار معنی‌دار ($p<0.01$) بود. این یافته‌ها با نتایج جانگرونکلانگ و همکاران (Jongrungklang et al., 2012) مطابقت دارد که نشان دادند تراکم ریشه در اعماق بیشترین تأثیر را بر میزان عملکرد در شرایط تنش خشکی دارد. زیرا در شرایطی که آب تنها در اعماق پایین ذخیره‌شده است وجود ریشه در این نواحی می‌تواند رشد گیاه را تضمین کند. به‌منظور بررسی ارتباط دقیق‌تر صفات اندازه‌گیری شده بر عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش خشکی تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام برای هر دو شرایط انجام شد که نتیجه آن در جدول ۳ آمده

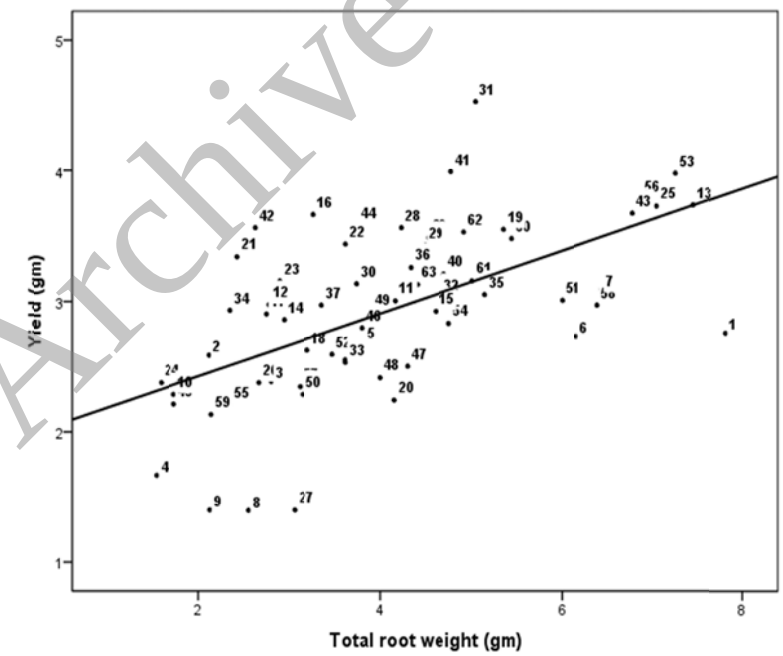
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲. ارتباط خطی بین وزن خشک کل ریشه و عملکرد در شرایط بدون تنش. نام ژنوتیپ‌ها بر اساس شماره در جدول ۱ مشخص است. ژنوتیپ اکبری در این شرایط دارای بیشترین وزن خشک ریشه است.

Fig 2. Linear relationship between total root dry weight and grain yield under non-stress condition. The name of genotypes are shown in Table 1. Genotype Akbari showed the highest root dry weight under this condition.



شکل ۳. ارتباط خطی بین وزن خشک کل ریشه و عملکرد در شرایط تنش خشکی. نام ژنوتیپ‌ها بر اساس شماره در جدول ۱ مشخص است. ژنوتیپ‌های اکبری، کراس البرز، شعله، Gamptos_R، استار و پیشتاز دارای بیشترین وزن خشک ریشه در این شرایط بودند.

Fig 3. Linear relationship between total root dry weight and yield under stress condition. The name of genotypes are shown in Table 1. Genotypes Akbari, C_Alborz, Shole, Gamptos_R, Star and Pishtaz had the highest root dry weight under stress condition.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳. ضرایب استاندارد رگرسیون گام‌به‌گام برای عملکرد به‌عنوان متغیر وابسته و دیگر صفات اندازه‌گیری شده به‌عنوان مستقل در شرایط بدون تنش و تنش خشکی برای ۶۳ ژنوتیپ گندم نان. صفات مشخص‌شده در جدول عبارت‌اند از وزن خشک زیست‌توده ، وزن خشک ریشه در عمق ۱۰۰-۶۰ (R_4)، تعداد سنبله در گیاه، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، وزن خشک کل ریشه، روز تا گلدهی و محتوای نسبی آب برگ. آماره‌های هم خطی تحمل (Tolerance) و VIF در جدول مشخص‌شده که نشان از عدم وجود هم خطی میان متغیرها دارد.

Table 3. Stepwise regression coefficients (standardized) for yield as dependent variable and other traits as independent variables under non-stress and stress condition for 63 bread wheat genotypes. The traits in models are shoot dry biomass, root weight at 60-100 cm of soil depth (R_4), number of spikes, number of seeds in spike, thousand seed weight, total root weight, days to flowering and relative water content. Co-linearity statistics of Tolerance and VIF are presented in table implying no co-linearity among independent variables.

	Non- stress بدون تنش			Stress تنش		
	ضریب استانداردشده رگرسیون Standardized coefficients	آماره‌های هم خطی Co-linearity statistics		ضریب استانداردشده رگرسیون Standardized coefficients	آماره‌های هم خطی Co-linearity statistics	
	beta	Tolerance	VIF	beta	Tolerance	VIF
وزن خشک زیست‌توده Dry biomass	0.489**	0.409	2.444	---	---	---
وزن خشک ریشه در ۶۰-۱۰۰ R_4	---	---	---	0.202**	0.469	2.132
تعداد دانه در سنبله No. of seeds in spike	0.664**	0.516	1.939	0.743**	0.459	2.179
تعداد سنبله No. of spikes	0.403**	0.421	2.373	0.725**	0.503	1.988
وزن هزار دانه Thousand seed weight	0.251**	0.765	1.308	0.496**	0.455	2.199
طول ریشه Root length	-0.145*	0.712	1.404	---	---	---
روز تا گلدهی Days to flowering	-0.130*	0.886	1.128	---	---	---
محتوای نسبی آب Relative water content	---	---	---	0.088*	0.956	1.046

است. در شرایط بدون تنش علاوه بر اجزا عملکرد، وزن خشک زیست‌توده اندام هوایی با اثر مثبت و صفات روز تا گلدهی و وزن خشک ریشه با اثر منفی بر عملکرد تأثیر گذاشته‌اند. نکته جالب‌توجه این است که در شرایط بدون تنش با دیررس‌تر شدن گیاهان عملکرد کاهش‌یافته است. یکی از دلایل کاهش عملکرد گندم در این شرایط این است که گیاهان به گرمای بالای آخر فصل برخورد کرده و عملکرد آن‌ها کاهش می‌یابد. همچنین صفت وزن کل ریشه تأثیر منفی بر عملکرد گیاه داشته است.

در شرایط تنش علاوه بر اجزاء عملکرد صفت وزن ریشه در عمق ۶۰-۱۰۰ سانتی‌متر و محتوای نسبی آب برگ بیشترین تأثیر را بر عملکرد داشتند. این نتیجه نشان می‌دهد که نه‌تنها دریافت آب از اعماق بیشتر (زمانی که آب زیرسطحی تمام شده است) بر عملکرد تأثیر مثبت می‌گذارد بلکه جلوگیری از هدر رفت آب از طریق برگ‌ها نیز می‌تواند بر عملکرد مؤثر باشد. این سازوکار را می‌توان به صفات روزنه‌ای مرتبط دانست که با بسته شدن به هنگام از هدر رفتن آب جلوگیری می‌کند و رشد گیاه را در شرایط تنش

Archive of SID

www.SID.ir

خشکی تضمین می‌کند. در یک سلسله تحقیقاتی که در استرالیا انجام شد همواره عملکرد رقم SeriM82 که از سیمیت معرفی‌شده بود نسبت به رقم Hartog که به‌طورمعمول کشت می‌شد بین ۶ تا ۲۸ درصد بیشتر بود. مطالعه‌های فیزیولوژیک بر روی صفات گوناگون نشان داد که رقم SeriM82 دارای ریشه‌های باریک‌تر بوده و رطوبت بیشتری را از عمق خاک دریافت می‌کند (Manschadi et al. 2010).

درمجموع بر اساس وزن خشک ریشه در پایین‌ترین عمق (۱۰۰-۶۰ سانتیمتر) می‌توان گفت حدود ۱۵ درصد از بهترین ژنوتیپ‌ها عبارت‌اند از سرداری، شعله، ناز، اینیا، مغان ۲، زرین، پیشتاز، استار، رسول، وری‌ناک و اکسکلیبر. در میان این ژنوتیپ‌ها ارقامی وجود دارد که پیش‌ازاین در مطالعات مختلف به‌عنوان ارقام متحمل گزارش شده‌اند که می‌توان به ارقام سرداری (Sio-Se Mardeh et al., 2006)، اکسکلیبر (Izanloo et al., 2008) و پیشتاز (Abdolshahi et al., 2012) اشاره کرد. هرچند تحمل به تنش خشکی صفت پیچیده‌ای است و تنها ریشه عمیق نمی‌تواند باعث تولید بیشتر محصول در شرایط تنش شود اما می‌توان از این ژنوتیپ‌ها دست‌کم در اصلاح این صفت به‌عنوان یکی از سازوکارهای تحمل استفاده کرد.

قدردانی

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از دکتر مظفر روستایی (موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مراغه) و دکتر گودرز نجفیان (موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج) برای در اختیار قرار دادن تعدادی از ژنوتیپ‌های موردنیاز این تحقیق تقدیر و تشکر کنند

منابع

Abdolshahi, R., Safarian, A., Nazari, M., Pourseyedi, S., Mohamadi-Nejad, G., 2012. Screening drought-tolerant genotypes in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using different multivariate methods. Archives of Agronomy and Soil Science. 59, 685-704.

Blum, A., 2011. Plant Breeding for Water-Limited Environments. Springer Verlag.

Christopher, J.T., 2010. Experimental and modelling studies of drought-adaptive root architectural traits in wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant Biosystems. 144(2), 458-462.

Dickin, E.,Wright, D., 2008. The effects of winter waterlogging and summer drought on the growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). European Journal of Agronomy. 28, 234-244.

Dinpashoh, Y., Fakheri-Fard, A., Moghaddam, M., Jahanbakhsh, S., Mirnia, M., 2004. Selection of variables for the purpose of regionalization of Iran's precipitation climate using multivariate methods. Journal of Hydrology. 297, 109-123.

Harlan, J.R., 1998. The Living Fields: Our Agricultural Heritage. Cambridge University Press.

Izanloo, A., Condon, A.G., Langridge, P., Tester, M., Schnurbusch, T., 2008. Different mechanisms of adaptation to cyclic water stress in two South Australian bread wheat cultivars. Journal of Experimental Botany. 59, 3327-3346.

Jongrungklang, N., Toomsan, B., Vorasoot, N., Jogloy, S., Boote, K.J., Hoogenboom, G., Patanothai, A., 2012. Classification of root distribution patterns and their contributions to yield in peanut genotypes under mid-season drought stress. Field Crops Research. 127, 181-190.

Kashiwagi, J., Krishnamurthy, L., Crouch, J.H., Serraj, R., 2006. Variability of root length density and its contributions to seed yield in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under terminal drought stress. Field Crops Research. 95, 171-181.

Kirkegaard, J.A., Hunt, J.R., 2010. Increasing productivity by matching farming system management and genotype in water-limited environments. Journal of Experimental Botany. 13, 1-15.

Kulkarni, M., Phalke, S., 2009. Evaluating variability of root size system and its constitutive traits in hot pepper (*Capsicum*

Archive of SID

www.SID.ir

annum L.) under water stress. Scientia Horticulturae. 120, 159-166.

Kusaka, M., Lalusin, A.G., Fujimura, T., 2005. The maintenance of growth and turgor in pearl millet (*Pennisetum glaucum* [L.] Leeke) cultivars with different root structures and osmo-regulation under drought stress. Plant Science. 168, 1-14.

Liu, H.-S., Li, F.-M., Xu, H., 2004. Deficiency of water can enhance root respiration rate of drought-sensitive but not drought-tolerant spring wheat. Agricultural Water Management. 64, 41-48.

Lopes, M.S., Reynolds, M.P., 2010. Partitioning of assimilates to deeper roots is associated with cooler canopies and increased yield under drought in wheat. Functional Plant Biology. 37, 147-156.

Manschadi, A.M., Christopher, J.T., Hammer, G.L., Devoil, P., 2010. Experimental and modelling studies of drought-adaptive root architectural traits in wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant Biosystems. 144, 458-462.

Mckenzie, B.M., Bengough, A.G., Hallett, P.D., Thomas, W.T.B., Forster, B., Mcnicol, J.W., 2009. Deep rooting and drought screening of cereal crops: a novel field-based method and its application. Field Crops Research. 112, 165-171.

Najafian, G., Jalal-Kamali, M.R., Azimian, J., 2008. Description of Iranian grown wheat cultivars and promising lines. Agricultural Education Publication. 208 p. [In Persian].

Passioura, J., 2006. Increasing crop productivity when water is scarce-from breeding to field management. Agricultural Water Management. 80, 176-196.

Rebetzke, G.J., Richards, R.A., Condon, A.G., Farquhar, G.D., 2006. Inheritance of carbon isotope discrimination in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Euphytica. 150, 97-106.

Reynolds, M., Dreccer, F., Trethowan, R., 2007. Drought-adaptive traits derived from wheat wild relatives and landraces. Journal of Experimental Botany. 58, 177-186.

Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., Mohammadi, V., 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crops Research. 98, 222-229.

Wasson, A.P., Richards, R.A., Chatrath, R., Misra, S.C., Prasad, S.V.S., Rebetzke, G.J., Kirkegaard, J.A., Christopher, J., Watt, M., 2012. Traits and selection strategies to improve root systems and water uptake in water-limited wheat crops. Journal of Experimental Botany. 63, 3485-3498.

Zhang, H., Wang, X., You, M., Liu, C., 1999. Water-yield relations and water-use efficiency of winter wheat in the North China Plain. Irrigation Science. 19, 37-45.

Archive of SID

www.SID.ir