نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۱، بهار ۱۳۹۴، ص. ۱۴۱-۱۳۴
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Journal of Horticultural Science
Vol. 29, No. 1, Spring 2015, P. 134-141
ISSN: 2008 - 4730

ارزیابی محتوای نسبی ژنوم و پاسخ به خشکی در دانهال های فستوکای بلند جمع آوری شده در ایران

ایمان روح اللهی[۱]- محسن کافی[۲*]- نیر اعظم خوش خلق سیما[۳]- عبدالمجید لیاقت[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۲/۲۸

چکیده

کاهش محتوای ژنوم می تواند مکانیسمی در جهت سازگاری با تنش های محیطی باشد، گزارش های متعددی از همبستگی بین اندازه ژنوم، شرایط آب و هوایی و وضعیت جوانه زنی در گیاهان گزارش شده است. محتوای نسبی ژنوم و رابطه آن با شاخص های استقرار گیاهچه تحت تنش خشکی در ۱۴جمعیت از فستوکای بلند[۵] جمع آوری شده در ایران و دو رقم تجاری مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که جمعیت‌های فستوکای بلند تحت مطالعه به غیر از جمعیت بروجن (۲ ایکس) همگی هگزاپلوئید (۶ ایکس[۶]) هستند. آنالیز کلاستر نتایج استقرار گیاهچه، تفاوت معنی‌داری را در محتوای نسبی ژنوم جمعیت های تحت مطالعه در چهار گروه نشان داد. جمعیت‌های اصفهان (گروه II: با محتوای نسبی ژنوم ۱۷/۹۵ پیکوگرم) و قوچان (گروه VI: با محتوای نسبی ژنوم ۱۸/۵۶ پیکو گرم) به ترتیب با ۱۰۰ درصد و ۶/۷ درصد جوانه زنی و طول برگ ۸/۸ و ۲/۳ سانتی‌متر در تنش ۴۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب مقاوم‌ترین و حساس‌ترین جمعیت‌ها طی تنش خشکی شدید در مراحل ابتدای سبز شدن بودند. همبستگی منفی معنی‌داری بین محتوای نسبی ژنوم در جمعیت های تحت مطالعه و دو رقم خارجی با درصد نهایی سبز شدن بذور (۰/۵۶-) و طول برگ (۰/۶۱-) مشاهده شد. به نظر می‌رسد کاهش محتوای نسبی ژنوم مکانیسمی در جهت سازگاری با تنش‌های محیطی باشد. در جمعیت‌های دو گروه I و II مقاومت به خشکی خوبی در مراحل ابتدایی جوانه زنی و رشد مشاهده گردید که نشان دهنده پتانسیل این جمعیت‌ها برای برنامه‌های اصلاحی آینده می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: محتوای DNA، درصد سبز شدن، تنش خشکی، طول برگ

مقدمه

جنس فستوکا از وسیع‌ترین جنس‌ها در خانواده گرامینه است که اعضاء آن به صورت گسترده با نواحی متفاوت اکوفیزیولوژیک سازگار شده اند (۲۵). جنس فستوکا شامل حدود ۴۵۰ گونه است که تعداد کروموزوم‌ها در آن طیفی از دیپلوئید (2n=2x=14) تا دو دکاپلوئید (2n=12x=84) را شامل می شوند (۲۱). مشخص شده است که اندازه ژنوم همبستگی مثبتی با عرض جغرافیایی خواستگاه گیاه تحت مطالعه دارد و این موضوع نشان می‌دهد که تغییر در ساختار ژنتیکی می تواند باعث سازگاری در محیط شود (۶). نایت و آکرلی (۱۲) معتقدند، گونه‌های دارای سایز ژنوم بزرگتر طی فصل‌های رشدی کوتاه و در مواجه با شرایط نامساعد، بیشتر در معرض نابودی قرار می‌گیرند. نایت و همکاران (۱۳) فرضیه‌هایی مبنی بر انتخاب طبیعت بر علیه ارگانیسم‌های دارای ژنوم بزرگ‌تر را پیشنهاد کردند. فاکتورهای محیطی ممکن است موجب تغییرهای معنی‌داری در محتوای دی ان ای گیاه شوند (۱۰). در طی مطالعه‌های انجام شده در ارتباط با سایز ژنوم، همبستگی‌های بالایی بین دما، ریزش باران با سایز ژنوم گزارش شده است (۱۲). به علاوه همبستگی مثبتی بین میزان رشد و سایز ژنوم تحت شرایط آب و هوایی خنک در گیاهان وجود دارد (۱۰). در مطالعه‌های مرتبط با سایز ژنوم و فاصله بین جوانه‌زنی بذر تا گلدهی نتایج متضادی ارائه شده است (۱۲) همبستگی اندازه ژنوم با سرعت نسبی رشد نیز به صورت مثبت (۱۵)، منفی (۷) و یا بی‌معنی (۱۲) گزارش شده است. همبستگی بین سایز

۱- استادیار گروه علوم باغبانی دانشگاه شاهد، دانشجوی سابق دکتری گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشگاه تهران
(*-نویسنده مسئول: Email: mkafi@ut.ac.ir)
۲ - استاد دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشگاه تهران
۳- استادیار پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران
۴- استاد دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

5- *Festuca arundinacea*
6- 6X

ژنوم و خصوصیات فنوتیپی پیش از این در گونه‌های فستوکای بلند (۷)، (۵) *Pisum sativum* و آفتابگران (۱۶) مشاهده شده است. اکنون مشخص شده است که گونه‌های دارای سایز ژنوم بزرگتر تمایل به داشتن سطح مخصوص برگ کوچک‌تری (معمولاً کوچک‌تر و ضخیم‌تر) در مقایسه با گونه‌های دارای سایز ژنوم کوچک‌تر دارند (۹ و ۱۳). اسماردا و بورس (۲۲) طی مطالعه‌های متفاوت در ارتباط با اندازه ژنوم در جنس فستوکا، کاربردی بودن دَپی، ۶-دی امیدینو-۲-فنیل ایندول (دَپی DAPI[1])، برای مطالعه محتوای نسبی ژنوم در این جنس را تایید نمودند. سکارلی (۶ و ۷) بذرهای جمعیت‌های فستوکای بلند، جمع‌آوری شده از ایتالیا را روی کاغذ صافی مرطوب در پتری دیش مورد مطالعه قرار داد. این مطالعه به همبستگی منفی بین قدرت جوانه‌زنی بذر، طول برگ و اندازه ژنوم در جمعیت‌های فستوکای بلند اشاره نمود. اگرچه مطالعات گروه سکارلی (۶ و ۷) نیز روی فستوکای بلند بود ولی تحقیقات بیان شده تنها در شرایط عدم هر گونه تنش و در پتری دیش انجام شد. فستوکای بلند به عنوان چمن و علوفه نقش اقتصادی مهمی در نواحی معتدل جهان دارا می‌باشند (۱۹ و ۲۳). علی رغم این‌که فستوکای بلند نسبتاً مقاوم به خشکی است (۱۷) تنوع ژنتیکی قابل توجهی بین جمعیت‌ها و ژنوتیپ‌های این گونه مشاهده می‌شود (۲). جوانه زنی و استقرار گیاهچه در رقم‌های فستوکای بلند تحت تاثیر کمبود آب در مناطق نیمه خشک متوقف می‌شود. تنش خشکی نقش مهمی در تعیین سرعت نسبی رشد و توسعه گیاهچه دارد (۳). گزنچیان و همکاران (۸) گزارش کردند که بذرهای فستوکای بلند برای سبز شدن به حداقل ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه رطوبت نیاز دارند. اطلاعاتی در ارتباط با محتوای نسبی ژنوم فستوکاهای بلند پراکنده در ایران وجود ندارد. همچنین گزارشی در باره تاثیر محتوای نسبی ژنوم روی توانایی سبز شدن و استقرار گیاهچه (طول برگ) تحت تنش خشکی ارائه نشده است. در این مطالعه سعی شده تا ضمن بررسی محتوای نسبی ژنوم در جمعیت‌های فستوکای بلند جمع آوری شده از نقاط مختلف ایران در کنار دو رقم خارجی، همبستگی فاکتور های موثر در استقرار اولیه گیاهچه مانند درصد سبز شدن و طول برگ با محتوای نسبی ژنوم را مورد بررسی قرار دهیم.

مواد و روش‌ها

تعیین محتوای نسبی ژنوم با استفاده از فلو سایتومتری

محتوای نسبی ژنوم در ۱۴ جمعیت فستوکای بلند جمع آوری شده از نقاط مختلف ایران و ۲ رقم خارجی (جدول ۱) با استفاده از فلوسایتومتری[2] انجام شد. یک برگ جوان از هر بوته و دو بوته از هر جمعیت به صورت کامل در ۰/۲ میلی لیتر بافر استخراج کننده سلول تکه تکه شدند. بعد از فیلتر کردن با استفاده از فیلتر پلاستیکی ۳۰ ماکرومتری، نمونه‌های سلولی با استفاده از ۰/۸ میلی لیتر محلول دَپی شامل ۱۰ میلی مولار تریس[3]، رنگ آمیزی شدند. بعد از ۵ دقیقه قرار دادن آن‌ها در دمای اتاق، محتوای نسبی ژنوم با استفاده از فلوسایتومتری تعیین شد. در کل برای هر نمونه حدود ۲۰۰۰ سلول آنالیز شد. محاسبه محتوای نسبی ژنوم بر اساس فرمول ارائه شده توسط لوریرو و همکاران (۱۴) انجام شد. گیاه جو، رقم سلطان[4] (اندازه ژنوم[5] = ۱۰/۹ پیکو گرم) به عنوان استاندارد داخلی مورد استفاده قرار گرفت (۴).

در ادامه جهت مطالعه محتوای نسبی ژنوم و تاثیر تنش خشکی بر درصد سبز شدن و رشد اولیه گیاهچه، جمعیت‌های فستوکای بلند جمع‌آوری شده از نقاط مختلف کشور و ۲ رقم خارجی تحت سطوح تنش خشکی ۴۰ درصد، ۶۰ درصد، ۸۰ درصد و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی مورد مطالعه قرار گرفتند. تاثیر سطوح متفاوت تنش خشکی روی درصد سبز شدن نهایی، سرعت جوانه زنی ، ضریب سرعت جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی، بنیه گیاهچه (۱)، طول ریشه چه (بلندترین ریشه و برگ) و وزن تر و خشک ریشه چه و برگ‌ها در هر گلدان در اتاقک رشد به مدت ۲۰ روز برای تمام جمعیت‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. هر گلدان (قطر ۹ سانتیمتر و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر) با ۳۰۰ گرم خاک شنی–لومی (ماسه ۶۱۰ گرم ، سیلت ۲۰۰ گرم و رس ۱۹۰ گرم در هر کیلوگرم) که قبلاً در خشک کن با دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد برای ۶ ساعت کامل خشک شده بودند پُر گردید. ۲۰ عد بذر سالم از هر جمعیت و رقم در سطح خاک خشک گلدان قرار گرفته و سپس با با حدوداً ۲ میلی متر خاک پوشانده شدند. یک آزمایش فاکتوریل در پایه طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. بعد از کاشت به آرامی آب به هر گلدان اضافه شد تا به ۴۰ درصد، ۶۰ درصد، ۸۰ درصد و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (۱/۴- ، ۰/۶- ، ۰/۲ – و ۰/۳ – مگا پاسکال) برابر با ۷/۲ ، ۱۰/۸ ، ۱۴/۴ و ۱۸ میلی‌لیتر در ۱۰۰ گرم خاک خشک برسند. دمای اتاقک رشد گلدان‌ها ۲۵/۱۷ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در شب/روز، تحت شرایط نور طبیعی با ۵۰ تا ۶۰ درصد رطوبت بود. میزان محتوای آب خاک طی آزمایش با وزن کردن تک تک گلدان‌ها هر ۶ ساعت یک بار در طی کل آزمایش حفظ شد.

1- 4;6-diamidino-2-phenylindole (DAPI)

2- Partec PA; Partec GmbH, Munster, Germany

3- Tris

4- Hordeum vulgare cv. Sultan (2n=2x=14) – Cx-value= value= 10.9 pg

5- Genome size (Cx-value)

جدول ۱- محل جمع‌آوری، دما و بارندگی در مناطق جمع آوری و محتوای نسبی ژنوم جمعیت‌های فستوکای بلند

	محل جمع آوری	محتوای نسبی ژنوم	متوسط دما (درجه سانتی‌گراد)	متوسط بارندگی (میلی متر/سال)
۱	سنندج	۱۸/۱۸	۱۳/۲۶	۴۶۷/۵۵
۲	گناباد	۱۷/۹۱	۱۶/۶۳	۱۴۳/۶۴
۳	اصفهان	۱۷/۸۷	۱۴/۶۰	۱۱۷/۰۹
۴	سمیرم	۱۷/۸۸	۱۱/۵۰	۳۰۵/۴۰
۵	بروجن	۶/۵۳	۹/۸۹	۲۵۸/۴۸
۶	کامیاران	۱۸/۸۹	۱۳	۴۶۶/۶۰
۷	مشهد	۱۸/۱۷	۱۴/۵۸	۲۵۴/۳۶
۸	اردبیل	۱۷/۸۲	۸/۵۶	۲۸۹/۳۲
۹	سد کرج	۱۸/۳۰	۱۴/۲۴	۲۶۴/۷۰
۱۰	یاسوج	۱۸/۲۹	۱۴/۳۵	۸۹۱/۳۵
۱۱	بارلروی	۱۸/۰۳	-	-
۱۲	بارودو	۱۸/۳۷	-	-
۱۳	قوچان	۱۸/۴۹	۱۲/۱۰	۳۳۹/۳۳
۱۴	فضای سبز اصفهان	۱۷/۹۸	۱۶/۰۹	۱۱۶/۵۰
۱۵	اصفهان – داران	۱۸	۹/۹۷	۳۴۱/۲۷
۱۶	اصفهان – یزد آباد	۱۷/۹۸	۱۶/۲۳	۱۰۹/۹۰

اندازه گیری درصد سبز شدن و طول برگ و ریشه هر گیاهچه

درصد سبز شدن طی ۲۰ روز، به صورت روزانه مورد بررسی دقیق قرار گرفت. سبز شدن برای هر بذر به محض مشاهده برگ در سطح خاک در هر گلدان در نظر گرفته شد. طول برگ و طول ریشه هر گیاهچه در هر گلدان بعد از اتمام آزمایش اندازه گیری شد (۲۰ روز بعد از کاشت). شاخص قدرت گیاهچه (۱) با ضرب کردن درصد سبز شدن برای هر جمعیت در میانگین طول گیاهچه (برگ به علاوه ریشه) محاسبه شد.

آنالیز داده ها

آنالیز واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS[1] انجام شد. همبستگی ساده برای تعیین ارتباط بین صفات مورد استفاده قرار گرفت. کلاستر داده‌ها با استفاده از حداقل واریانس وارد[2] و فاصله اقلیدسی[3] برای تمام صفت ها و ۱۵ جمعیت هگزاپلوییید تحت مطالعه انجام شد (۲۴). مقایسه میانگین داده‌ها بر اساس آزمون چند دامنه دانکن و با دقت ۰/۰۱ انجام شد.

نتایج و بحث

در ابتدا محتوای نسبی ژنوم و سطوح پلوییدی تمام جمعیت های تحت مطالعه را آنالیز نموده و سپس همبستگی بین محتوای نسبی ژنوم، درصد سبز شدن و طول برگ تحت تنش خشکی شدید در تمام جمعیت‌ها مورد بررسی قرار گرفت. محتوای نسبی ژنوم در بین جمعیت های هگزا پلوییید تحت مطالعه در محدوده ۱۷/۸۱ – ۱۸/۹۳ پیکو گرم قرار داشت (جدول ۱). آنالیز کلاستر نتایج جوانه زنی و استقرار گیاهچه، ۱۵ فستوکای بلند تحت مطالعه را در ۴ گروه قرار داد (شکل ۱)، به نحوی که تفاوت میانگین داده‌های محتوای نسبی ژنوم گروه‌های III و VI با گروه های I و II تفاوت معنی‌داری نشان داد (جدول ۴) تخمین محتوای نسبی ژنوم نشان داد که به ترتیب جمعیت‌های کامیاران و قوچان با ۱۸/۸۸ و ۱۸/۴۹ پیکوگرم در گروه VI کلاستر بیشترین و دو جمعیت اردبیل و اصفهان به ترتیب با ۱۷/۸۱ و ۱۷/۸۷ پیکوگرم در گروه I وII کلاستر، کمترین محتوای نسبی ژنوم را دارا می‌باشند (شکل ۱ و جدول ۴). در ضمن محتوای نسبی ژنوم در بارودو و بارلروی (دو رقم خارجی) به ترتیب ۱۸/۳۷ و ۱۸/۰۲ پیکو گرم بود (جدول ۱). به غیر از یک جمعیت دیپلوییید (بروجن) تمام فستوکاهای بلند تحت مطالعه هگزا پلوییید بودند، اگرچه تایید این جمعیت دیپلوییید نیاز به تحقیق و بررسی بیشتری دارد. تمام جمعیت‌های فستوکای بلند در گروه I کمترین میزان محتوای نسبی

1 -(SAS Inst. Cary, NC)
2- Ward
3- Euclidean distance

ژنوم و جمعیت‌های گروه VI بیشترین محتوای نسبی ژنوم را از خود نشان دادند (جدول ۴). از طرف دیگر بیشترین درصد سبز شدن نهایی و بیشترین طول برگ و ریشه تحت تنش خشکی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب با ۱۰۰ درصد جوانه زنی، طول برگ ۸/۸ و طول ریشه ۶/۴ سانتی‌متر (جدول ۳) نیز متعلق به جمعیت اصفهان در گروه I بود (جدول ۴). کمترین درصد سبز شدن نهایی و کمترین طول برگ و ریشه تحت تنش خشکی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی نیز به ترتیب با ۶/۷ درصد جوانه زنی، طول برگ ۲/۳ سانتی‌متر و طول ریشه ۲/۳ سانتی‌متر (جدول ۳) متعلق به جمعیت قوچان در گروه VI بود (جدول ۴).

نتایج ما همبستگی منفی معنی داری در فستوکاهای بلند تحت مطالعه، بین درصد سبز شدن نهایی (r =۰/۵۶) با محتوی نسبی ژنوم و طول برگ (r = ۰/۶۱) با محتوای نسبی ژنوم نشان داد (شکل ۲). اگرچه هیچ همبستگی معنی‌داری بین بارندگی (جدول ۱) و سایر صفات مشاهده نشد.

درصد سبز شدن بذر و طول برگ گیاهچه

تفاوت معنی داری بین سطوح رطوبتی و ژنوتیپ های تحت مطالعه در ارتباط با تمام صفت ها مشاهده شد (جدول ۲). جوانه‌زنی سریع و کامل در استقرار گیاهچه‌ها نقش مهمی ایفاء می کند.

جدول ۲ - مقایسه میانگین درصد نهایی سبز شدن و شاخص های گیاهچه در ۱۶ جمعیت فستوکای بلند، تحت ٤ سطح تنش خشکی

سطوح تنش	شاخص قدرت گیاهچه	طول ریشه	طول برگ	§درصد سبز شدن نهایی
درصد ظرفیت زراعی	SVI	سانتیمتر		درصد
†ظرفیت زراعی	۱۸/۲۸a	۸/۳۶a	۱۲/۴۰a	۸۷/۱۸a
۸۰ درصد ظرفیت زراعی	۱۶/۸۴b	۷/۷۰b	۱۱/۲۶b	۸۸/۲۲a
۶۰ درصد ظرفیت زراعی	۱۳/۲۳c	۶/۷۵c	۹/۱۵c	۸۲/۶۰b
۴۰ درصد ظرفیت زراعی	۷/۸۱d	۵/۲۷d	۶/۳۹d	۶۰/۶۲c
LSD (0.05)	۰/۵۵۱۲	۰/۱۹۷۸	۰/۲۴۱۴	۲/۶۸۷۴

† ظرفیت زراعی مزرعه

†† در هر ستون، میانگین هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵درصد آزمون دانکن با هم اختلاف معنی داری ندارند

§ درصد سبز شدن نهایی با شمارش تعداد گیاهچه های ظاهر شده در سطح خاک در پایان آزمایش (بعد از ۲۰ روز) تعیین شد

جدول۳- تاثیر سطوح متفاوت تنش خشکی روی درصد نهایی سبز شدن، طول برگ، طول ریشه و شاخص قدرت گیاهچه در ۱۶ جمعیت فستوکای بلند

جمعیت ها†	کلاستر	شاخص قدرت گیاهچه (SVI)		طول ریشه چه (سانتی‌متر)		طول برگ (سانتی‌متر)		درصد سبز شدن نهایی	
		FC	FC٪ ٤٠	FC	FC٪ ٤٠	FC	FC٪ ٤٠	FC	٪ ٤٠FC
سنندج	III	۱۷/۸۳edf	۱۱/۸۵bc	۷/۸cde	۵/۹abcd	۱۰/۶gh	۸ abcd	۹۶/۶abc	۸۵ab
گناباد	II	۲۱/۷۳ab	۱۳/۰۲ab	۸/۹ab	۶/۱abc	۱۴/۳۵bc	۸/۶ab	۹۳/۳abc	۸۸/۳a
اصفهان	II	۲۲/۲۸ab	۱۵/۱۶a	۸/۹ab	۶/۴a	۱۳/۴bcd	۸/۸a	۱۰۰a	۱۰۰a
سمیرم	I	۲۲/۶۰a	۸/۰۴def	۸/۸abc	۶/۴a	۱۴/۲bc	۸/۲abc	۹۳/۳ab	۵۵ cd
بروجن	III	۱۱/۱۲h	۲/۷۰gh	۷/۲e	۵/۶bcd	۱۱/۸efg	۳/۹h	۵۸/۳e	۲۸/۳fg
کامیاران	VI	۱۴/۲۹g	۳/۶۹g	۹ ab	۵/۲de	۱۰h	۴/۶h	۷۵d	۳۵ ef
مشهد	III	۲۰/۸۹abc	۸/۹۹de	۸/۲abcd	۵/۴cd	۱۳ cde	۷/۴cde	۹۶/۶abc	۷۰bc
اردبیل	I	۱۹/۷۴bcd	۷/۹۷def	۹/۳a	abc۶	۱۶a	۷/۲de	۷۸/۳d	۶۰cd
کرج	III	۲۰/۰۸abcd	۷/۳۹ef	۸/۷abc	۵/۲de	۱۳/۶bcd	۶/۲g	۹۰ bc	۶۵cd
یاسوج	VI	۱۸/۹۵cde	۰/۵۱hi	۸/۵abcd	۱/۹f	۱۱/۸efg	۱/۶i	۹۳/۳abc	۱۳/۳gh
بارواندو	III	۲۲/۲۳ab	۶/۵۴f	۸/۴abcd	۶ abc	۱۴/۵b	۷ efg	۹۶/۶bc	de۵۰
بارلروی	II	۲۰/۱۴abcd	۹/۸۴cd	۸/۳abcd	۴/۶e	۱۲/۵def	۶/۳fg	۹۶/۶abc	۹۰a
قوچان	VI	۸/۸۳h	۰/۰۳i	۷/۶de	۲/۳f	۸ i	۲/۳i	۵۶/۶۶e	۶/۷h
اصفهان-تیران	I	۱۶/۳۹efg	۷/۸۸def	۷/۸cde	۵/۳cde	۱۰/۸gh	۷/۱ef	۸۸/۳۳C	۶۳/۳cd
اصفهان-داران	II	۲۰/۰۳ abcd	۱۲/۲۷ b	۷/۹bcde	۵/۸abcd	۱۲/۵def	۷/۲de	۹۸/۳۳ab	۹۵ a
اصفهان-یزدآباد	I	۱۵/۲۶ fg	۹/۰۶ de	۸/۲bcde	۶/۱ab	۱۱/۴fgh	۷/۸bcde	۷۸/۳۳d	۶۵ cd

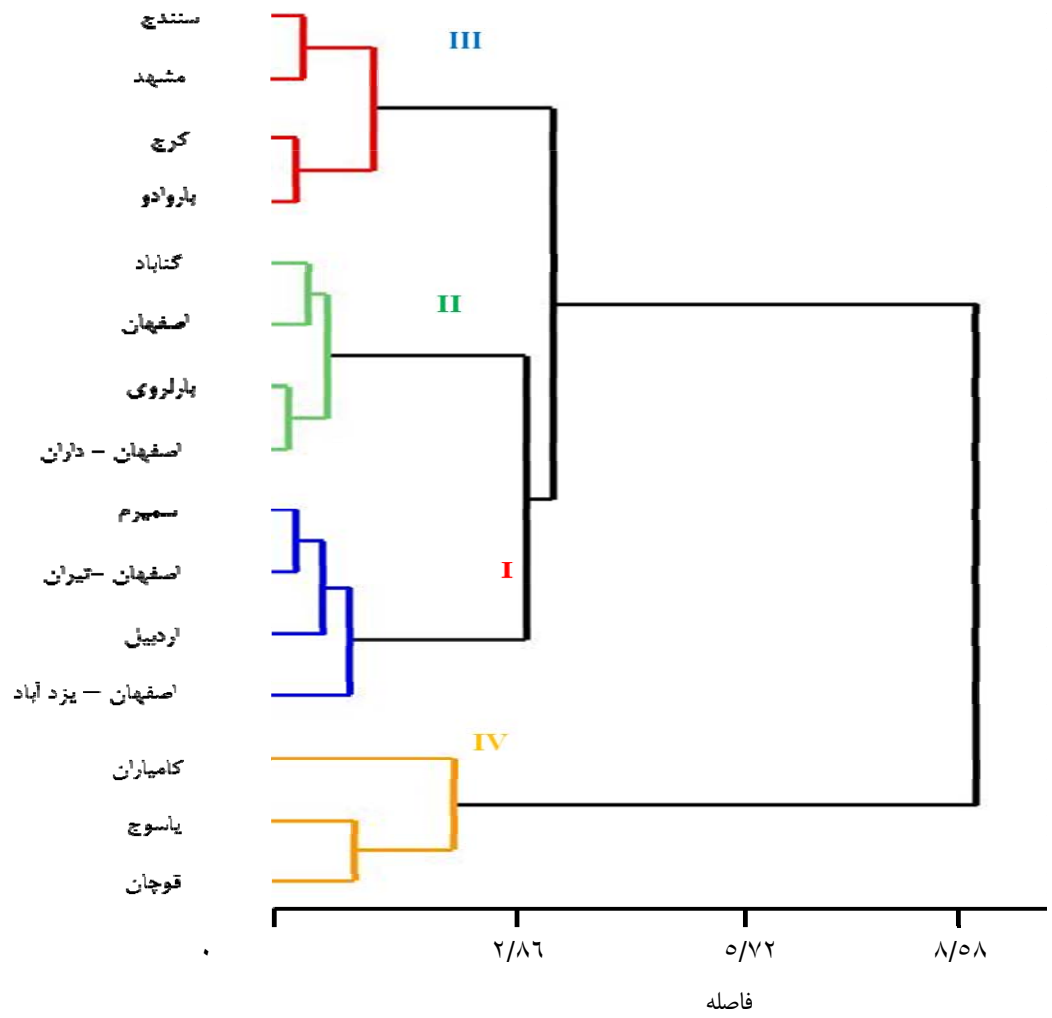
† 100% and 40% Field soil moisture capacity

†† در هر ستون، میانگین هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵درصد آزمون دانکن با هم اختلاف معنی داری ندارند.

میانگین کل درصد جوانه زنی در ۱۰۰ درصد، ۸۰ درصد، ۶۰ درصد و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب ۸۷/۱۸، ۸۸/۲۲، ۸۱/۶۰ و ۶۰/۶۲ درصد بود (جدول ۳). در حالیکه تمام جمعیت ها در ۴۰ درصد ظرفیت زراعی تا حدودی جوانه زنی داشتند، میانگین سبز شدن برای جمعیت های قوچان و یاسوج بسیار پایین بود. بیشترین درصد سبز شدن در جمعیت اصفهان (۱۰۰ درصد) و در رقم باروارد (۹۰ درصد) برای ظرفیت زراعی ۴۰ درصد مشاهده شد (جدول ۳). میزان سبز شدن نهایی برای جمعیت های قوچان، یاسوج، بروجن و کامیاران در ۴۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب ۶/۷ درصد، ۱۳/۳ درصد، ۲۸/۳ درصد و ۳۵ درصد بود (جدول۲). بیشترین درصد سبز شدن در جمعیت‌های اصفهان-یزدآباد، سمیرم و اردبیل در ۸۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. این موضوع نشان می‌دهد که میزان رطوبت موجود در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی برای جمعیت‌های مذکور بیشتر از حد مطلوب است و سبز شدن نهایی بذرها را تا حدودی کاهش می‌دهد. با کاهش محتوای آب خاک شاخص قدرت گیاهچه در حدود ۴۲ درصد کاهش یافت (جدول ۲). بیشترین میزان شاخص قدرت گیاهچه در جمعیت های اصفهان و گناباد و کمترین شاخص در جمعیت های قوچان و یاسوج و در ۴۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول ۳). تحت ۴۰ درصد ظرفیت زراعی شاخص قدرت گیاهچه در رقم‌های باروادو و بارلروی حدود ۷۰ درصد و ۵۱ درصد به ترتیب کاهش یافت. طول ریشه و طول برگ در هر گیاهچه در کلیه جمعیت‌های تحت مطالعه در ۱۰۰ درصد و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب در حدود ۵۰ درصد و ۳۶ درصد کاهش نشان داد (جدول ۱). در ۴۰ درصد ظرفیت زراعی جمعیت اصفهان بیشترین طول برگ (۸/۸ سانتیمتر) و طول ریشه (۶/۴ سانتی‌متر) را در مقایسه با سایر جمعیت‌ها به خود اختصاص داد (جدول ۲). طول برگ و ریشه به ترتیب در حدود ۵۲ درصد و ۲۱ درصددر باروادو و در حدود ۵۱ درصد و ۲۸ درصد در بارلروی تحت تنش ۴۰ درصد ظرفیت زراعی در مقایسه با ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی کاهش نشان دادند (جدول ۲). در واقع تفاوت ژنتیکی موجود در بین جمعیت‌های فستوکای بلند تحت مطالعه و دو رقم خارجی باعث تفاوت های فنوتیپی در سبز شدن بذرها و قدرت استقرار گیاهچه تحت تنش خشکی می شود. نتایج ما نشان داد که کلیه فستوکاهای بلند تحت مطالعه در شرایط تنش خشکی بر اساس صفت‌های مرتبط با استقرار گیاهچه در ۴ گروه شامل مقاوم به خشکی (I و II)، متحمل به خشکی (III) و حساس به خشکی (IV) کلاستربندی می‌شوند، که بین میانگین محتوای نسبی ژنوم گروه‌ها تفاوت های معنی‌داری وجود دارد (جدول ۴).

سکارلی و همکاران (۶) تغییرات محتوای نسبی ژنوم در فستوکاهای جمع‌آوری شده در ایتالیا را بین ۵/۵ تا ۹ پیکو گرم گزارش کردند. سیبل (۲۰) تغییرات بسیار زیاد در محتوای دی ان ای فستوکای بلند و حداکثر تا ۱۱/۱۹ پیکوگرم را گزارش نمود. جوهار (۱۱) در مطالعه دیپلوییدی در جمعیت‌های فستوکای بلند، وجود جمعیت های فستوکا-لولیوم دیپلویید را تایید کرده است، ولی گزارشی مبنی بر وجود این سطح پلوییدی در فستوکای بلند گزارش نشده است. مطابق با نتایج ما همبستگی منفی بین قدرت جوانه زنی و اندازه ژنوم و هم‌چنین همبستگی منفی بین طول برگ و اندازه ژنوم توسط سکارلی و همکاران (۶ و ۷) نیز در فستوکای بلند گزارش شده است. تغییر در محتوای ژنوم در جنس فستوکای بلند که توانایی گسترش در نواحی جغرافیایی مختلف دارد، احتمالاً در سازگاری این گونه تاثیر گذار بوده است.

در نهایت، نتایج ما تغییرات معنی داری در محتوای نسبی ژنوم و توانایی استقرار گیاهچه تحت تنش خشکی در فستوکاهای بلند جمع آوری شده از نقاط مختلف اکولوژیکی ایران نشان داد. مقدار کم آب موجود در خاک تحت تنش ۴۰ درصد ظرفیت زراعی، صفات درصد سبز شدن نهایی، شاخص قدرت گیاهچه و طول برگ و ریشه را خصوصاً در جمعیت های حساس کاهش داد. جمعیت های کلاستر I که از نواحی نیمه خشکی چون اصفهان جمع‌آوری شده بودند با کمترین محتوای نسبی ژنوم دارای بهترین درصد جوانه زنی، رشد برگ و شاخص قدرت گیاهچه طی تنش شدید خشکی بودند. جمعیت‌های قوچان و یاسوج از کلاستر VI بیشترین محتوای نسبی ژنوم، کوچکترین سایز برگ‌ها و ضعیف‌ترین درصد سبز شدن انتهایی را نشان دادند. در نهایت بر اساس نتایج آنالیز کلاستر و میانگین محتوای نسبی ژنوم در کنار شاخص های استقرار فستوکاهای بلند تحت مطالعه می توان گفت که شاخص های درصد سبز شدن نهایی، طول برگ و شاخص قدرت گیاهچه در کنار محتوای نسبی ژنوم در ارزیابی فستوکا های بلند مقاوم به خشکی نقش اساسی و مهمی را دارند. فستوکاهای بلند موجود در طبیعت ایران منابع ژنتیکی ارزشمندی جهت کارهای اصلاحی آینده برای دستیابی به چمن‌های فستوکای بلند مقاوم به خشکی با قدرت استقرار بالاهستند.

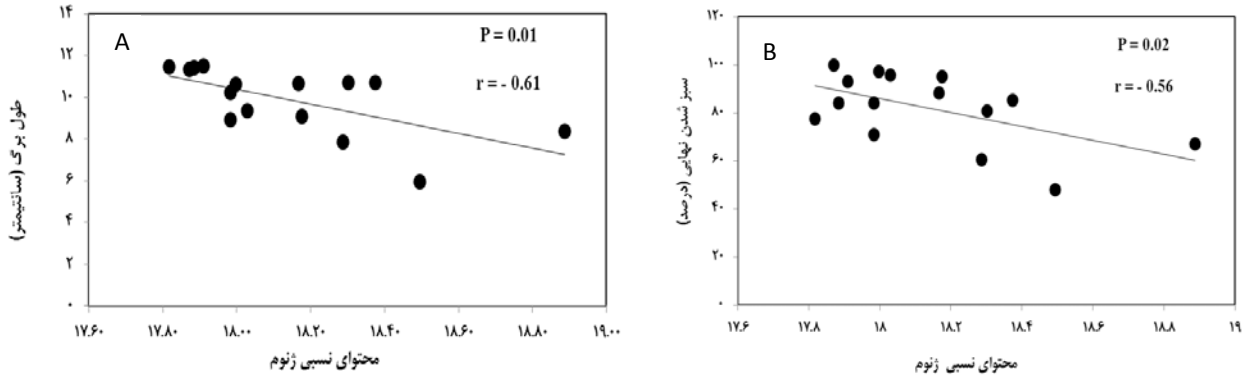


شکل ۱- گروه‌بندی ۱۳ جمعیت فستوکای بلند و دو رقم تجاری بر اساس صفت‌های اندازه گیری شده در ارتباط با جوانه زنی و استقرار گیاهچه از طریق آنالیز کلاستر وارد (فاصله اقلیدسی)

جدول ٤ - گروه بندی آنالیز کلاستر ۱۳ جمعیت فستوکای بلند و ۲ رقم تجاری بر اساس فاکتور های اندازه گیری شده و میانگین محتوای نسبی ژنوم در هر گروه

گروه های کلاستر	I	II	III	IV
نام محل های جمع آوری جمعیت های فستوکای بلند	سمیرم، اردبیل، اصفهان – تیران و اصفهان – یزد آباد	گناباد، اصفهان، بارلروی و اصفهان– داران	سنندج، مشهد، کرج و بارواندو	کامیاران، یاسوج و قوچان
میانگین محتوای نسبی دی ان ای (پیکو گرم)	۱۷/۹۱۶	۱۷/۹۵۲	۱۸/۲۵۴	۱۸/۵۵۶
تفاوت میانگین ها†	c	b	a	a

† میانگین هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۰/۰۵ آزمون چند دامنه ای دانکن با هم اختلاف معنی داری ندارند.



شکل ۲- همبستگی محتوای نسبی نسبی ژنوم با طول برگ (A) ودرصد سبز شدن نهایی (B) در ۱۳ جمعیت فستوکای بلند و دو رقم تجاری

منابع

1- Abdul-Baki A.A., and Anderson J.D. 1973. Relationship between decarboxylation of glutamic acid and vigor in soybean seed. Crop Science, 13:227–232.
2- Beard J.B., and Sifers S.I. 1997. Genetic diversity in dehydration avoidance and drought resistance within *Cynodon* and *Zoysia* species. International Turfgrass Society Research Journal, 8: 603–610.
3- Berg L.V.D., and Zeng Y.J. 2006. Short communicate. Response of South African indigenous grass species to drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) 6000. South African Journal of Botany, 72: 284 – 286.
4- Buitendijk J.H., Boon E.J., and Ramanna M.S. 1997. Nuclear DNA content in twelve species of *Alstroemeria* L. and some of their hybrids. Annals of Botany, 79: 343-353.
5- Cavallini A., Natali L., Cionini G., and Gennai D. 1993. Nuclear DNA variability within *Pisum sativum* (Leguminosae): nucleotypic effects on plant growth. Heredity, 70: 561-565.
6- Ceccarelli M., Falistocco E., and Cionini P.G. 1992. Variation of genome size and organization with in hexaploid *Festuca arundinacea*. Theoretical and Applied Genetics, 83: 273-278.
7- Ceccarelli M., Minelli S., Falcinelli M., and Cionini P.G. 1993. Genome size and plant development in hexaploid *Festuca arundinacea*, Heredity 71:555-560.
8- Gazanchian A., Khosh Kholgh Sima N.A., Malboobi M.A., and Majidi Heravan E. 2006. Relationships between Emergence and Soil Water Content for Perennial Cool-Season Grasses Native to Iran. Crop Science, 46: 544-553.
9- Gregory R.T. 2005. The evolution of the genome. Elsevier academic press, New York, 740p.
10- Grime J.P., Thompson K., Hunt R., Hodgson J.G., Cornnelissen J.H.C., Rorison I.H., Hendry G.A.F., Ashenden T.W., Askew A.P., Band S.R and et al. 1997. Integrated screening validates primary axes of specialisation in plants. Oikos, 79:259-281.
11- Jauhar P.P. 1975. Genetic Regulation of Diploid-like Chromosome Pairing in the Hexaploid Species, *Festuca arundinacea* Schreb. and *F. rubra* L. (Gramineae) Chromosoma (Berl.), 52:363-382
12- Knight C.A., Ackerly D.D. 2002. Variation in nuclear DNA content across environmental gradients: a quantile regression analysis. Ecology Letters 5:66-76.
13- Knight C.A., Molinari N.A., and Petrov D.A. 2005. The large genome constraint hypothesis: Evolution, Ecology and phenotype. Annals of Botany, 95: 177-190.
14- Loureiro J., Kopecky D., Castro S., and Silveria P. 2007. Flow cytometric and cytogenetic analyses of Iberian Peninsula *Festuca* spp. Plant Systematics and Evolution, 269:89-105.
15- Minelli S., Moscariello P., Ceccarelli M., and Cionini P.G. 1996. Nucleotype and phenotype in *Vicia faba*. Heredity, 76:524-530.
16- Natali L., Cavallini A., Cionini G., Sassoli O., Cionini P.G., and Durante M. 1993. Nuclear changes within *Helainthus annuus* L: changes with in single progenies and their relationship with plant development. Theoretical and Applied Genetics, 85:506-512.
17- Pessarakli M. 2008. Hand Book of Turfgrass Management and Physiology. CRC Press. Taylor & Francis publishing company, Florida, 690p.
18- Saha M.C., Mian R., Zwonitzer J.C., Chekhovskiy K., and Hopkins A.A. 2005. An SSR and AFLP based genetic linkage map of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb. Theoretical and Applied Genetics, 110: 323-336.

19- SAS (1996) SAS/STAT User's guide, Release 6.12 ed. SAS Institute. Cary, NC.
20- Seal A.G. 1983. DNA variation in *Festuca*. Heredity (1983), 50 (3): 225-236.
21- Sharifi Tehrani M., Mardi M., Sahebi J.P. and Catala A. and ıaz-P D´. 2009.Genetic diversity and structure among Iranian tall fescue populations based on genomic-SSR and EST-SSR marker analysis. Plant Syst Evol, 282:57–70.
22- Smarda P., and Bures P. 2006. Intraspecific DNA content variability in *Festuca pallens* on different geographical scales and ploidy. Annals of botany, 98: 665–678.
23- Smarda P., and Stancik D. 2006. Ploidy level variability in South American fescues (*Festuca* L., Poaceae): use of flow cytometry in up to 5 1/2-year-old caryopses and herbarium specimens. Plant Biology, 8: 73–80.
24- Ward J.H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. American Statistical Association Journal, 56:236–244.
25- Yamada T. 2011. *Festuca*, In: Kole C. (ed.) Wild Crop relatives: Genomic and Breeding Resources, Millets and Grasses, Springer, New York, pp 153-164.