

## اثر القای پلی پلوئیدی بر صفات مورفوفیزیولوژیک سورگوم (*Sorghum bicolor* cv. KFS2)

### Effect of Polyploidy induction on morpho-physiologic characteristics in sorghum (*Sorghum bicolor* cv. KFS2)

گیتی ستوده اردبیلی<sup>۱</sup>، رسول اصغری زکریا<sup>۲</sup> و ناصر زارع<sup>۳</sup>

#### چکیده

ستوده اردبیلی، گ.، ر. اصغری زکریا و ن. زارع. ۱۳۹۳. اثر القای پلی پلوئیدی بر صفات مورفوفیزیولوژیک سورگوم (*Sorghum bicolor* cv. KFS2). مجله علوم زراعی ایران. ۱۶(۲): ۱۵۱-۱۶۵.

دست ورزی در محتوای کروموزوم گونه های گیاهی به علت تاثیر آن در برخی از ویژگی های مورفوفیزیولوژیکی و ایجاد تنوع ژنتیکی، یکی از روش های توانمند اصلاح نباتات محسوب می شود. این آزمایش در سال ۱۳۹۱ در دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد و در آن به منظور القای پلی پلوئیدی در گیاه سورگوم، بذر، گیاهچه و جوانه های انتهایی ساقه با کلسی سین (۰/۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۲ درصد) در مدت زمان های ۸، ۲۴ و ۴۸ ساعت تیمار شدند. تعیین درصد گیاهان تتراپلوئید از طریق بررسی های مورفولوژیکی، روزنه ای و کاریولوژیکی انجام شد. نتایج نشان داد که غلظت های ۰/۲۵ درصد کلسی سین در زمان ۴۸ ساعت و ۰/۱ درصد کلسی سین در زمان ۲۴ ساعت بهترین تیمارها برای تولید گیاهان تتراپلوئید در هر سه روش تیمار بودند. مقایسه گیاهان دیپلوئید و تتراپلوئید نشان داد که گیاهان تتراپلوئید دارای تعداد روزنه کمتر ولی اندازه بزرگتری بوده و ضخامت برگ، ارتفاع بوته، طول و عرض برگ، قطر ساقه، تعداد برگ و ارتفاع و محیط خوشه در این گیاهان بیشتر بود. به علاوه، گیاهان تتراپلوئید دارای تعداد گره کمتر یا برابر با گیاهان دیپلوئید و در نتیجه فواصل میانگره بیشتری بودند. میزان کلروفیل، کربوهیدرات ها، پروتئین های کل محلول برگ و آنزیم های آنتی اکسیدان در گیاهان تتراپلوئید افزایش معنی داری را نشان دادند. نتایج حاصل از مطالعه الگوی بیان پروتئین های کل برگ با استفاده از روش SDS-PAGE نیز نشان دهنده افزایش تراکم نوارهای پروتئینی در گیاهان تتراپلوئید در مقایسه با گیاهان دیپلوئید بود. نتایج این آزمایش نشان داد که القای پلی پلوئیدی می تواند در بهبود برخی از صفات سورگوم موثر باشد.

واژه های کلیدی: آنزیم های آنتی اکسیدان، تتراپلوئیدی، سورگوم، کربوهیدرات و کلسی سین.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۲/۳۱ این مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول می باشد

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی

۲- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی. عضو انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: r-asghari@uma.ac.ir)

۳- استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی

## مقدمه

سورگوم زراعی (*Sorghum bicolor* L.) گیاهی از خانواده غلات و مقاوم به خشکی است. از دانه و ساقه سورگوم می‌توان برای تولید شکر، شربت، علوفه و کاغذ استفاده کرد. از طرف دیگر استحصال اتانول از این گیاه می‌تواند در کاهش آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از سوخت‌های فسیلی موثر باشد. مقاومت سورگوم به تنش‌های خشکی و شوری و امکان کشت آن در گستره‌ای از انواع خاک‌ها، از مزایای این گیاه می‌باشد (Shoemaker and Bransby, 2010).

دست‌ورزی در محتوای کروموزوم و اندازه ژنوم گونه‌ها به علت تاثیر آن در برخی از ویژگی‌های اکوفیزیولوژیکی، ابزاری توانمند در مطالعات گیاهی بوده و در تکامل ژنتیکی بسیاری از گیاهان موثر شناخته شده است (Ochatt et al., 2011). اگر چه فراوانی گیاهان پلی‌پلوئید اغلب پایین می‌باشد، اما تنوع ایجاد شده از طریق القای آن بالا بوده و ژرم پلاسما گیاهی متنوعی را جهت انجام مطالعات اصلاحی فراهم می‌سازد (Thao et al., 2003). اغلب گیاهان پلی‌پلوئید در ویژگی‌هایی مانند مقاومت به خشکی، آپومیکسی، افزایش زیست توده، مقاومت در برابر آفات و تغییر در کیفیت و میزان ترکیب‌های فعال گیاهی بهتر از انواع دیپلوئید خود بوده و در نتیجه از شانس بیشتری در گزینش برخوردارند (Lavania, 2005). پلی‌پلوئیدی از طریق افزایش اندازه سلول منجر به تولید اندام‌های رویشی و زایشی بزرگ‌تر می‌گردد (Adaniya and Shira, 2001). ارقام پلی‌پلوئید گیاه سورگوم نیز اندام‌های رویشی بزرگ‌تری داشته و در نتیجه محصول بیشتری نسبت به انواع دیپلوئید خود تولید می‌کنند (Quinby, 1974). القای مصنوعی پلی‌پلوئیدی با استفاده از عوامل بازدارنده میتوزی مختلفی مانند کلشی‌سین، اوریزالین و تریفلورالین انجام شده (Dhooghe et al., 2010) و به صورت موفقیت‌آمیز

در برخی از ارقام سورگوم نیز گزارش شده است (Avidov et al., 2013; Miranda et al., 1979; Schertz, 1962). در تعیین سطوح پلوئیدی گیاهان روش‌های مستقیم مانند شمارش کروموزوم‌های متافازی و فلوسیتومتری کاربرد دارند (Ochatt et al., 2011).

گیاهان از طریق سیستم‌های آنزیمی آنتی‌اکسیدان خود از آسیب گونه‌های فعال اکسیژنی مانند رادیکال‌های سوپر اکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال هیدروکسیل محافظت می‌شوند. گیاهان تراپلوئید قابلیت بیشتری جهت کنترل فعالیت گونه‌های فعال اکسیژنی داشته و مقاومت بیشتری نسبت به تنش‌های محیطی از خود نشان می‌دهند (Zhang et al., 2010). تغییرات ژنتیکی و اپی‌ژنتیکی بسیاری پس از القای پلی‌پلوئیدی اتفاق می‌افتد و ممکن است به علت افزایش بیان ژن‌ها، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان افزایش پیدا کند (Zhang et al., 2010). القای پلی‌پلوئیدی به عنوان یک سازوکار برای افزایش میزان متابولیت‌های ثانویه و افزایش مقاومت به برخی از تنش‌ها در نظر گرفته می‌شود (Liu et al., 2002). این تحقیق به منظور بهینه‌سازی و ارائه دستورالعمل مناسب برای ایجاد گیاهان تراپلوئید در گیاه سورگوم با استفاده از کلشی‌سین و بررسی برخی خصوصیات رشدی، کمی و کیفی گیاهان حاصل انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

بذرهای سورگوم رقم KFS<sub>2</sub> از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه گردید. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور غلظت کلشی‌سین (۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۲ درصد) و مدت زمان تیمار (۸، ۲۴ و ۴۸ ساعت) با سه تکرار و به صورت جداگانه با تیمار بذر، گیاهچه و جوانه انتهایی ساقه در گلخانه و آزمایشگاه بیوتکنولوژی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد. برای تیمار بذر و گیاهچه‌های سه روزه، آن‌ها در

استوفریک هماتوکسیلین به مدت ۱۰ ساعت انجام گرفت.

به منظور بررسی اثرات پلی پلوئیدی بر میزان کلروفیل، ۰/۲ گرم از بافت برگ با استفاده از استون ۸۰ درصد به تدریج ساییده شد تا کلروفیل وارد محلول استون شود. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید و سپس جذب نوری در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد (Arnon, 1949). میزان کلروفیل با استفاده از روابط زیر تعیین شد که در آن V حجم نهایی استون و W وزن نمونه بر حسب گرم می‌باشند.

$$a \text{ کلروفیل } (mg\ g^{-1}) = (12.7 \times A_{663}) - (2.69 \times A_{645}) \times V/1000W$$

$$b \text{ کلروفیل } (mg\ g^{-1}) = (22.9 \times A_{645}) - (4.68 \times A_{663}) \times V/1000W$$

استخراج پروتئین با استفاده از روش گای و همکاران (Guy et al., 1992) با تغییرات جزئی انجام شد. بافت برگ‌گی به همراه بافر استخراج (تریس - اسید کلریدریک ۵۰ میلی مولار، EDTA دو میلی مولار و ۲- مرکاپتو اتانول ۰/۰۴ درصد) همگن شده و عصاره حاصل سانتریفیوژ شد. به منظور رسم منحنی استاندارد از پروتئین آلبومین گاوی (BSA) استفاده و مقدار پروتئین با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۹۵ نانومتر اندازه گیری شد. نمونه استخراج شده توسط بافر استخراج پروتئین نیز با بافر نمونه (تریس - اسید کلریدریک ۰/۰۶۲۵ SDS دو درصد، ۲- مرکاپتو اتانول پنج درصد، گلیسرول ۱۰ درصد و بروموفیل بلو ۰/۰۱ درصد) مخلوط شده و پس از ورتکس در داخل چاهک‌های ژل SDS-PAGE بارگذاری و الکتروفورز با روش لاملی (Laemmli, 1970) انجام شد.

جهت اندازه گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان و کربوهیدرات‌های محلول یک گرم بافت تر در یک هاون چینی محتوای پنج میلی لیتر بافر تریس - اسید کلریدریک ۰/۰۵ مولار همگن شده و به مدت

غلظت‌های مختلف کلشی سین و در زمان‌های تیمار مورد نظر غوطه‌ور شدند. جهت تیمار جوانه انتهایی ساقه نیز از گیاهچه‌های پنج روزه استفاده گردید، بدین ترتیب که ریشه‌ها خارج از محلول کلشی سین و در بین دو کاغذ صافی مرطوب و جوانه انتهایی آن‌ها در محلول‌های کلشی سین قرار گرفت. پس از اعمال تیمارهای مورد نظر، بذرها و گیاهچه‌ها با استفاده از آب مقطر استریل شست و شو داده شده و در شرایط گلخانه به منظور ایجاد گیاهان تتراپلوئید کشت شدند. برای تهیه خاک مناسب از یک قسمت ماسه بادی، یک قسمت خاک معمولی و یک قسمت کود دامی استفاده شد.

تعیین سطح پلوئیدی در گیاهان تیمار شده، ابتدا بر اساس تغییرات مورفولوژیکی در مراحل مختلف رشد و نمو و نیز ارزیابی تعداد و اندازه روزنه‌ها انجام شد و در نهایت شمارش تعداد کروموزوم در بافت مرستمی نوک ریشه‌های بذری گیاهان حاصل (پس از رسیدگی کامل و برداشت بذرها) جهت تأیید سطح پلوئیدی استفاده شد و درصد گیاهان پلی پلوئید حاصل بدست آمد. برای تعیین تعداد روزنه‌های سطح برگ لایه فوقانی برگ پرچم با قشری نازک از لاک بی‌رنگ معمولی پوشانیده شد. پس از خشک شدن، با استفاده از نوار چسب لایه فوق روی یک لام تمیز قرار داده شده و با میکروسکوپ نوری (10X) تعداد روزنه‌ها در میلی متر مربع مشاهده و شمارش گردید. به منظور شمارش تعداد کروموزوم‌ها، از بذور حاصل از گیاهان تیمار شده با کلشی سین استفاده شد. ابتدا نوک ریشه‌های یک تا ۱/۵ سانتی متری در محلول کلشی سین ۰/۰۵ درصد پیش تیمار شده، سپس در محلول لویتسکی (۱:۱ حجمی از فرمالدئید ۱۰ درصد و اسید کرومیک یک درصد) به مدت ۲۴ ساعت و در دمای چهار درجه سانتی گراد تثبیت شدند. نرم کردن ریشه‌ها با استفاده از هیدرولیز با هیدروکسید سدیم یک نرمال به مدت ۱۰ دقیقه و رنگ آمیزی با استفاده از محلول

۲۰ دقیقه در ۱۲۰۰۰ دور و دمای چهار درجه سانتی گراد سانتریفیوژ شد. سپس محلول روشناور (حاوی عصاره پروتئینی) جهت بررسی فعالیت آنزیم کاتالاز به روش چنس و مهلی (Chance and Maehly, 1955) و آنزیم های پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز به روش کار و میشر (Kar and Mishra, 1976) مورد استفاده قرار گرفت و فعالیت هریک از آنزیم ها بر حسب تغییرات واحد جذب در دقیقه به ازای هر میلی گرم پروتئین محاسبه شد. برای استخراج کربوهیدرات های محلول از روش اوموکولو و همکاران (Omokolo et al., 1996) استفاده شد و مقدار آن ها با استفاده از آنترن به روش مک کرییدی و همکاران (McCready et al., 1950) با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۲۰ نانومتر اندازه گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده ها و مقایسه میانگین ها به روش آزمون دانکن با استفاده از نرم افزار SAS انجام گرفت. تفاوت آماری در خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی بین گیاهان دیپلوئید و تتراپلوئید با استفاده از نرم افزار SPSS و آزمون T و تجزیه و تحلیل نوارهای پروتئینی با استفاده از نرم افزار TotalLab انجام شد.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان دهنده وجود اثرات متقابل معنی دار غلظت کلشی سین با مدت زمان تیمار بر درصد زنده مانگی در هر سه روش تیمار بود. بیشترین درصد زنده مانگی در تمام مراحل تیمار پس از تیمارهای شاهد (غلظت صفر)، در غلظت ۰/۰۲۵ درصد کلشی سین در زمان ۸ ساعت مشاهده شد و با افزایش درصد کلشی سین و مدت زمان تیمار درصد زنده مانگی به شدت کاهش پیدا کرد (جدول ۱). کوان و همکاران (Quan et al., 2004) گزارش کردند افزایش غلظت کلشی سین و مدت زمان تیمار باعث افزایش شدت مرگ و میر و ناهنجاری در گیاهان می شود. با بررسی

کاریولوژیکی از طریق بذور برداشت شده از گیاهان تحت تیمار کلشی سین، دو برابر شدن تعداد کروموزوم های برخی از گیاهان تایید شد (شکل ۱). اثر متقابل غلظت کلشی سین و مدت زمان تیمار تاثیر معنی داری بر درصد القای تتراپلوئیدی داشتند. با افزایش غلظت کلشی سین و مدت زمان تیمار، احتمال تولید گیاهان تتراپلوئید افزایش یافت. در صورتی که در غلظت های بسیار بالای کلشی سین توام با افزایش مدت زمان تیمار به علت کاهش درصد زنده مانگی، گیاهان تتراپلوئید تولید نشد و یا درصد تولید گیاهان تتراپلوئید کاهش یافت. بیشترین درصد گیاهان تتراپلوئید در تیمار بذر (حدود ۷ درصد) مربوط به غلظت های ۰/۰۲۵ و ۰/۰۵ درصد کلشی سین در زمان ۴۸ ساعت و ۰/۱ درصد کلشی سین در زمان ۲۴ ساعت و در تیمارهای گیاهچه (حدود ۸ درصد) و جوانه انتهایی ساقه (حدود ۱۰ درصد) در غلظت های ۰/۰۲۵ در زمان ۴۸ ساعت و ۰/۱ در زمان ۲۴ ساعت بود (جدول ۱). غلظت ۰/۱ درصد کلشی سین تیماری موثر برای تولید ارقام تتراپلوئید در برخی از ارقام سورگوم گزارش شده است (Delnavaz Hashemlouian et al., 2010 and Schertz, 1962).

استفاده از بازدارنده های میتوزی به منظور تغییر سطوح پلوئیدی از گذشته مورد استفاده قرار گرفته و تا حد زیادی در تولید محصولات دارای صفات مطلوب موثر بوده است (Dhooghe et al., 2010). این مواد از طریق ممانعت از تشکیل رشته های دوک باعث دو برابر شدن تعداد کروموزوم ها می شوند. القای پلی پلوئیدی در غلات معمولاً به سختی صورت می گیرد و موفقیت در میزان القای پلی پلوئیدی در گیاهان به غلظت و مدت زمان مناسب تیمار بستگی دارد (Delnavaz Hashemlouian et al., 2010). نتایج حاصل از الگوی بیان پروتئین های کل برگ در گیاهان شاهد و تتراپلوئید با استفاده از روش SDS-PAGE مشخص کرد که تراکم نوارهای

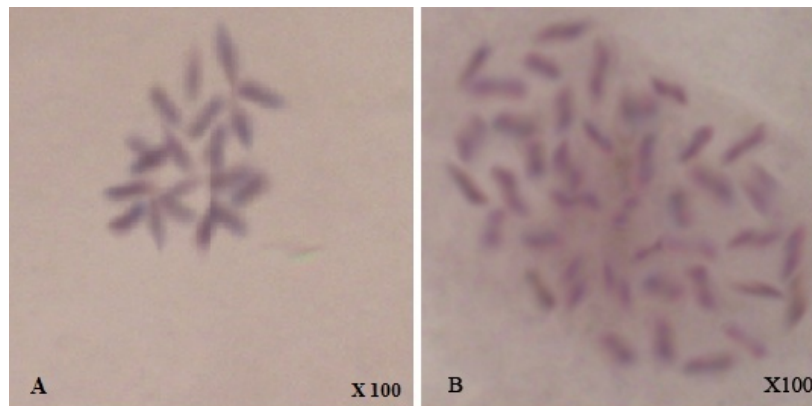
جدول ۱- درصد زنده مانگی و تراپلوئیدی در تیمار بذر، گیاهچه و جوانه انتهایی ساقه سورگوم در تیمارهای کلشی سین

Table 1. Survival rate and tetraploidy percentage at seed, seedling and terminal bud of sorghum in colchicine treatments

|                                      | غلظت کلشی سین<br>Colchicine concentration (%) | تیمار بذر<br>Seed treatment |                 |                 | تیمار گیاهچه<br>Seedling treatment |                 |                 | تیمار جوانه انتهایی ساقه<br>Terminal bud treatment |                 |                 |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------------------------|-----------------|-----------------|
|                                      |                                               | Seed treatment              |                 |                 | Seedling treatment                 |                 |                 | Terminal bud treatment                             |                 |                 |
|                                      |                                               | ۸ ساعت<br>8 h               | ۲۴ ساعت<br>24 h | ۴۸ ساعت<br>48 h | ۸ ساعت<br>8 h                      | ۲۴ ساعت<br>24 h | ۴۸ ساعت<br>48 h | ۸ ساعت<br>8 h                                      | ۲۴ ساعت<br>24 h | ۴۸ ساعت<br>48 h |
| درصد زنده مانگی<br>Survival rate (%) | 0                                             | 86.33a                      | 87.66a          | 86.33a          | 93a                                | 79.67b          | 70.67c          | 84a                                                | 74.33b          | 61c             |
|                                      | 0.025                                         | 67.33b                      | 52c             | 25.33d          | 60.67d                             | 37.33f          | 25.33g          | 51d                                                | 33.33f          | 22g             |
|                                      | 0.05                                          | 53.33c                      | 22de            | 13.33fg         | 47.33e                             | 29.67g          | 11i             | 39.67e                                             | 25.33g          | 10i             |
|                                      | 0.1                                           | 25d                         | 16.33ef         | 1hi             | 27.33g                             | 17.33h          | 6.33i           | 26.33g                                             | 16h             | 5ijk            |
|                                      | 0.2                                           | 7.33gh                      | 4hi             | 0i              | 6.33i                              | 0j              | 0j              | 7.33ij                                             | 2jk             | 0k              |
| درصد تراپلوئیدی<br>Tetraploidy (%)   | 0                                             | 0f                          | 0f              | 0f              | 0h                                 | 0h              | 0h              | 0h                                                 | 0h              | 0h              |
|                                      | 0.025                                         | 1.1ef                       | 3.3cd           | 6.6a            | 2.2fg                              | 4.4de           | 8.8a            | 3.3efg                                             | 6.6bcd          | 8.8ab           |
|                                      | 0.05                                          | 2.2de                       | 4.4bc           | 7.7a            | 3.3ef                              | 6.6bc           | 3.3ef           | 5.5cde                                             | 7.7bc           | 4.4ef           |
|                                      | 0.1                                           | 3.3cd                       | 5.5ab           | 1.1ef           | 5.5cd                              | 7.7ab           | 2.2fg           | 7.7bc                                              | 11a             | 2.2fgh          |
|                                      | 0.2                                           | 4.4bc                       | 2.2de           | 0f              | 1.1gh                              | 0h              | 0h              | 2.2fgh                                             | 1.1gh           | 0h              |

در هر ستون میانگین هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.

Means in each column followed similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test



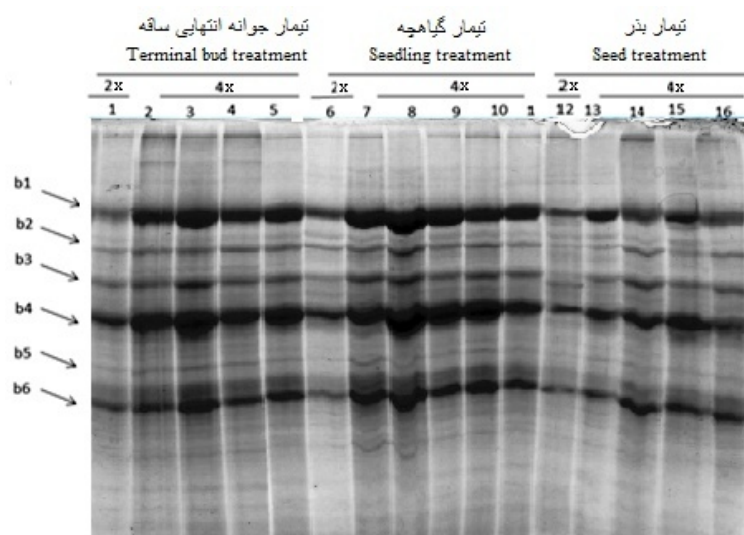
شکل ۱- تعداد کروموزوم‌ها در سلول‌های نوک ریشه، (a) گیاه دیپلوئید و (b) گیاه تتراپلوئید سورگوم

Fig. 1. Chromosome number in cells of the root tip, a) diploid plant ( $2n=2x=20$ ) and b) tetraploid sorghum plant ( $2n=4x=40$ )

تغییرات ژنومی بسیاری پس از پلی‌پلوئیدی اتفاق می‌افتد (Ranney, 2006). افزایش اندازه سلول‌ها در نتیجه افزایش سطح پلوئیدی می‌تواند به عنوان عاملی جهت افزایش مواد ذخیره‌ای در سلول‌ها تلقی شود (Kondorosi *et al.*, 2000). نتایج تحقیقات انجام شده توسط ژو و همکاران (Xie *et al.*, 2007) نیز نشان داد که محتوای پروتئینی در اندوسپرم لاین‌های

پروتئینی در هر سه روش تیمار در گیاهان تتراپلوئید بیشتر از گیاهان دیپلوئید بود. در واقع سطح بیان پروتئین در گیاهان تتراپلوئید نسبت به دیپلوئید افزایش یافت (شکل ۲؛ جدول ۲).

اگرچه کروموزوم‌های دو برابر شده سوماتیکی گونه جدیدی را ایجاد نمی‌کنند و تنها نسخه‌های اضافی از ژن در کروموزوم‌های موجود ایجاد می‌شود، اما



شکل ۲- تغییرات سطح بیان پروتئین‌های کل محلول در برگ‌های گیاه سورگوم در گیاهان تتراپلوئید و دیپلوئید، در سه روش تیمار با کلشی‌سین

Fig. 2. Changes in expression levels of total soluble proteins in sorghum leaves in tetraploid and diploid plants at three method of treatment with colchicine

اتوتراپلوئید برنج خیلی بیشتر از انواع دیپلوئید آن بود. در حالی که الگوی بیان ژن در اتوتراپلوئیدها مشابه با لاین‌های دیپلوئید بود.

مقایسه میانگین داده‌ها در هر سه تیمار افزایش معنی‌داری را در میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پلی‌فنل اکسیداز و پراکسیداز و همچنین میزان کربوهیدرات‌های محلول و پروتئین کل در گیاهان تراپلوئید در مقایسه با گیاهان دیپلوئید نشان داد (جدول ۳).

سازوکارهایی که صفات مهمی را در پلی‌پلوئیدها ایجاد می‌کنند هنوز به طور دقیق کشف نشده‌اند و تحقیقات بعدی این سازوکارها را بهتر مشخص خواهد کرد (Zhang et al., 2010). افزایش میزان کربوهیدرات‌ها، پروتئین کل و فعالیت آنزیمی در گیاهان تراپلوئید در مقایسه با دیپلوئید در این تحقیق می‌تواند در نتیجه افزایش سطوح پلوئیدی باشد. سازگاری‌های بیشتر گیاهان پلی‌پلوئید نسبت به تنش‌های محیطی نیز می‌تواند به علت افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی آن‌ها باشد. در واقع روش دو برابر کردن تعداد کروموزوم‌ها می‌تواند با افزایش فعالیت ژنی و در نتیجه افزایش تنوع آنزیم‌ها، افزایش نسبت فتوسنتز، کاهش میزان تعرق و سرعت رشد کمتر گیاه باعث مقاومت بیشتر نسبت به تنش‌های تغذیه‌ای و معدنی و شرایط محیطی گردد (Dhawan and Lavania, 1996). لیو و همکاران (Liu et al., 2011) نشان دادند که در شرایط تنش‌های شوری و خشکی فعالیت آنزیم پراکسیداز و محتوای نسبی آب در گیاهان تراپلوئید در مقایسه با دیپلوئیدها بیشتر شده است. ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2010) گزارش کردند در مقایسه با گیاهان دیپلوئید میزان آنیون‌های سوپراکسید و پراکسید هیدروژن در تراپلوئیدها در سطح پایین‌تری بود. در حالی که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند سوپر اکسیداز دیسموتاز، پراکسیداز، کاتالاز، اسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون

ردوکتاز افزایش یافته و ترکیبات آنتی‌اکسیدان مانند اسید اسکوربیک و گلوتاتیون در غلظت‌های بالا حفظ شدند. نتایج کلی نشان داد که گیاهان پلی‌پلوئید سیستم آنتی‌اکسیدانی قوی‌تری داشته و مقاومت آن‌ها بیشتر است.

مطالعات روزنه‌ای در سه روش تیمار، تفاوت‌های معنی‌داری را از لحاظ اندازه و تعداد سلول‌های روزنه در بین گیاهان دیپلوئید و تراپلوئید نشان داد. گیاهان تراپلوئید دارای تعداد روزنه کمتر ولی اندازه روزنه بزرگتری در مقایسه با گیاهان دیپلوئید بودند (شکل ۳، جدول ۴). افزایش اندازه سلول‌های روزنه در اثر القای پلی‌پلوئیدی در برخی از گیاهان مانند توت سفید (*Morus alba*) (Chakraborti et al., 1998)، مارچوبه (*Shiga et al.*, 2009) و گندم (*Aryavand et al.*, 2003) و کاهش تعداد روزنه نیز در گونه‌های پلی‌پلوئید توت سفید (*Chakraborti et al.*, 1998) گزارش شده است. بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها، میزان کلروفیل‌های a، b و کل، در هر سه تیمار در گیاهان تراپلوئید به صورت معنی‌دار بیشتر از گیاهان دیپلوئید بودند (جدول ۴). اندازه‌گیری محتوای کلروفیل نیز در تعیین سطح پلوئیدی در گونه‌های مختلف گیاهی با موفقیت همراه بوده است (Urwin and Horsnell, 2007). متورا و همکاران (Mathura et al., 2006) گزارش کردند که میزان کلروفیل در گیاهان اتوتراپلوئید نوعی آکاسیا (*Acacia mearnsii*) ۴۰ درصد بیشتر از انواع دیپلوئید آن بوده است. به طور کلی پلی‌پلوئیدها در مقایسه با دیپلوئیدها با حفظ تعادل آبی مناسب و محتوای کلروفیل بالا باعث کاهش تنش‌های اکسیداتیو شده و مقاومت به خشکی و شوری نیز در آن‌ها افزایش می‌یابد. در واقع پلی‌پلوئیدی با افزایش اندازه برگ‌ها، روزنه‌ها، کلروپلاست‌ها و سلول‌های نگهبان روزنه از طریق افزایش کارایی فتوسنتز موجب سازگاری به عوامل محیطی نیز می‌شود (Liu et al., 2011).

جدول ۲- میانگین درصد افزایش سطح بیان پروتئین های کل محلول برگ، در گیاهان سورگوم تتراپلوئید نسبت به انواع دیپلوئید در تیمارهای کلشی سین

Table 2. Average rate of increasing expression of total soluble protein in tetraploid sorghum plants, than diploid varieties at different colchicine treatments

| نوارهای پروتئینی<br>Protein bands | تیمار بذر (Seed treatment) |         | تیمار گیاهچه (Seedling treatment) |         | تیمار جوانه انتهایی ساقه (Terminal bud treatment) |         |
|-----------------------------------|----------------------------|---------|-----------------------------------|---------|---------------------------------------------------|---------|
|                                   | (Mean±SE)                  | T test  | (Mean±SE)                         | T test  | (Mean±SE)                                         | T test  |
| b1                                | 88.82±7.11                 | 12.48** | 91.42±7.42                        | 12.31** | 80.91±1.72                                        | 46.77** |
| b2                                | 40.25±2.18                 | 18.44** | 40.81±1.95                        | 20.87** | 43.28±4.33                                        | 9.98**  |
| b3                                | 48.35±5.68                 | 8.5**   | 54.48±3.48                        | 15.62** | 46.63±2.71                                        | 17.18** |
| b4                                | 104.01±8.13                | 12.78** | 95.47±5.58                        | 17.1**  | 91.48±7.28                                        | 12.56** |
| b5                                | 47.74±5.86                 | 8.14**  | 39.81±7.33                        | 5.42**  | 31.55±7.57                                        | 4.16*   |
| b6                                | 64.86±14.62                | 4.43*   | 76.87±9.31                        | 8.25**  | 54.04±4.84                                        | 11.15** |

\*\* significant at 1% probability level using t-test

\*\* معنی دار در سطح احتمال یک درصد

جدول ۳- مقایسه میزان آنزیم های آنتی اکسیدان، کربوهیدرات و پروتئین کل در گیاهان سورگوم دیپلوئید و تتراپلوئید در سه روش تیمار با کلشی سین

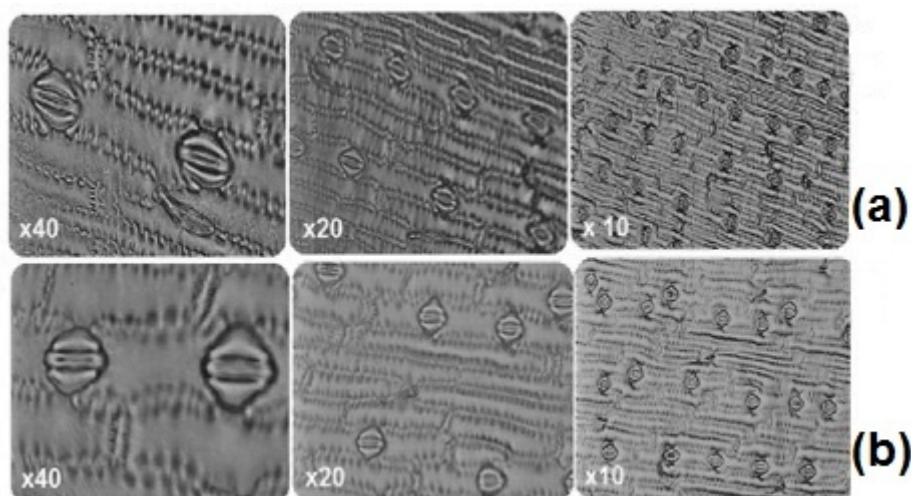
Table 3. Comparison of antioxidant enzymes, carbohydrates and total protein content in diploid and tetraploid sorghum plants in three method of treatment with colchicine

| Biochemical parameters                                       | صفات بیوشیمیایی | تیمار بذر      |              | تیمار گیاهچه       |              | تیمار جوانه انتهایی ساقه |              |
|--------------------------------------------------------------|-----------------|----------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------------|--------------|
|                                                              |                 | Seed treatment |              | Seedling treatment |              | terminal bud treatment   |              |
|                                                              |                 | 2x (Mean±SE)   | 4x (Mean±SE) | 2x (Mean±SE)       | 4x (Mean±SE) | 2x (Mean±SE)             | 4x (Mean±SE) |
| Total protein (g g <sup>-1</sup> )                           | پروتئین کل      | 0.13±0.1b      | 0.144±0.03a  | 0.12±0.05b         | 0.138±0.04a  | 0.127±0.05b              | 0.145±0.01a  |
| Carbohydrates (mg g <sup>-1</sup> )                          | کربوهیدرات      | 0.65±0.1b      | 0.8±0.06a    | 0.64±0.04b         | 0.83±0.07a   | 0.63±0.04b               | 0.75±0.03a   |
| Catalase (OD g <sup>-1</sup> .FWmin <sup>-1</sup> )          | کاتالاز         | 4.32±0.28b     | 5.01±0.2a    | 4.38±0.2b          | 5.05±0.09a   | 4.28±0.22b               | 4.99±0.12a   |
| Polyphenoloxidase (OD g <sup>-1</sup> .FWmin <sup>-1</sup> ) | پلی فنل اکسیداز | 4.79±0.08b     | 5.5±0.02a    | 4.96±0.05b         | 5.56±0.15a   | 4.78±0.19b               | 5.57±0.28a   |
| Peroxidase (OD g <sup>-1</sup> .FWmin <sup>-1</sup> )        | پراکسیداز       | 2.50±0.1b      | 2.92±0.08a   | 2.42±0.21b         | 2.92±0.07a   | 2.58±0.12b               | 3.06±0.13a   |

در هر ستون میانگین هایی که با حروف متفاوت نشان داده شده اند، بر اساس آزمون t دارای تفاوت معنی دار هستند

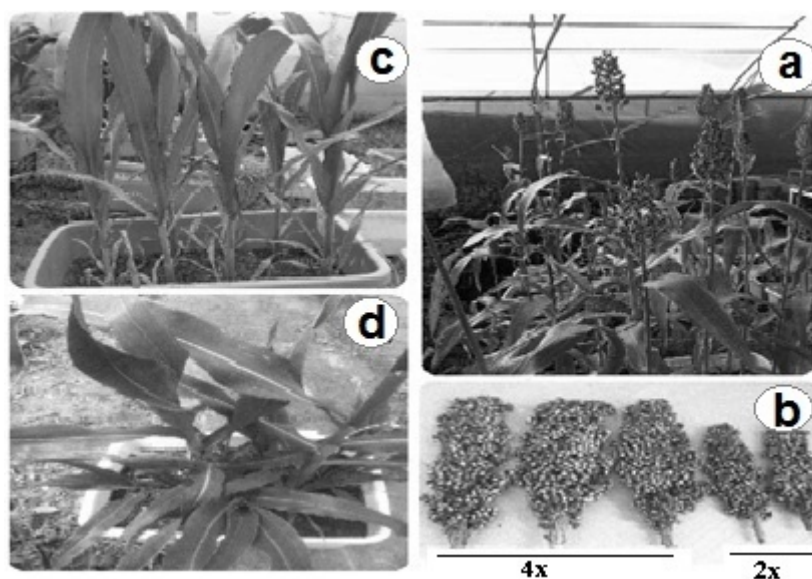
Means in each column followed by different letter(s) are significantly different using t-test





شکل ۳- تغییرات اندازه و تعداد سلول‌های روزنه در (a) گیاه دیپلوئید و (b) گیاه تتراپلوئید سورگوم

Fig. 3. Differences in stomata size and number, a) diploid plant and b) tetraploid sorghum plant



شکل ۴- مقایسه گیاهان تتراپلوئید و دیپلوئید سورگوم، (a) مرحله رسیدگی کامل؛ (b) مقایسه اندازه خوشه؛ (c) گیاهان دیپلوئید در مرحله رشد رویشی و (d) گیاهان تتراپلوئید در مرحله رشد رویشی

Fig. 4. Comparison of tetraploid and diploid sorghum plants, a) reproductive growth; b) comparing the panicle size; c) diploid plants in vegetative stage and d) tetraploid plants in vegetative stage

دیگر این گیاهان دارای تعداد گره کمتر و یا برابر و در نتیجه فواصل میانگره بیشتر از گیاهان دیپلوئید بودند (شکل ۴؛ جدول ۴). این نتایج با گزارش آویدوف و همکاران (Avidov *et al.*, 2013) در سورگوم مطابقت داشت. القای پلی پلوئیدی اغلب سبب

بررسی برخی از صفات مورفولوژیکی و آناتومیکی در این آزمایش نشانگر افزایش ضخامت برگ، ارتفاع بوته، طول و عرض برگ، قطر ساقه، تعداد برگ و طول و محیط خوشه در هر سه روش تیمار در گیاهان تتراپلوئید در مقایسه با گیاهان دیپلوئید بود. از طرف

جدول ۴- مقایسه برخی ویژگی‌های کمی و کیفی گیاهان دیپلوئید با تتراپلوئید سورگوم حاصل در سه روش تیمار با کلشی سین

Table 4. Comparison some of the qualitative and quantitative characteristics of diploid plants with derived tetraploid sorghum plants in three treatment methods with colchicine

| Plant characteristics                        | صفات گیاهی            | تیمار بذر<br>Seed treatment |              | تیمار گیاهچه<br>Seedling treatment |              | تیمار جوانه انتهایی ساقه<br>Terminal bud treatment |              |
|----------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------|------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------|--------------|
|                                              |                       | 2x (Mean±SE)                | 4x (Mean±SE) | 2x (Mean±SE)                       | 4x (Mean±SE) | 2x (Mean±SE)                                       | 4x (Mean±SE) |
| Number of adaxial stomata (mm <sup>2</sup> ) | تعداد روزنه سطح برگ   | 275.73±4.5a                 | 227.06±2.51b | 256.63±3.69a                       | 201.65±2.9b  | 265.8±2.6a                                         | 216.82±2.44b |
| Number of abaxial stomata (mm <sup>2</sup> ) | تعداد روزنه پشت برگ   | 421.06±5.9a                 | 350.72±5.32b | 403±2.58a                          | 332.6±2.66b  | 413.6±2.3a                                         | 348.07±3.04b |
| Average internode length (cm)                | میانگین فواصل میانگره | 9.48±0.17b                  | 11.20±0.28a  | 9.55±0.18b                         | 13.53±0.16a  | 9.7±0.22b                                          | 14.38±0.15a  |
| Chlorophyll a content (mg g <sup>-1</sup> )  | محتوای کلروفیل a      | 1.18±0.09b                  | 1.51±0.06a   | 1.08±0.02b                         | 1.45±0.02a   | 1.1±0.02b                                          | 1.45±0.02a   |
| Chlorophyll b content (mg g <sup>-1</sup> )  | محتوای کلروفیل b      | 0.48±0.1b                   | 0.87±0.1a    | 0.48±0.01b                         | 0.89±0.01a   | 0.47±0.01b                                         | 0.88±0.01a   |
| Average of leaf thickness (mm)               | میانگین ضخامت برگ     | 0.21±0.01b                  | 0.31±0.01a   | 0.23±0.01b                         | 0.43±0.01a   | 0.28±0.01b                                         | 0.42±0.01a   |
| Leaf length (cm)                             | طول برگ               | 20.90±0.34b                 | 28.18±0.25a  | 24.22±0.65b                        | 30.51±0.57a  | 25.42±0.6b                                         | 31.75±0.55a  |
| Leaf width (cm)                              | عرض برگ               | 3.09±0.06b                  | 4.06±0.03a   | 3.63±0.13b                         | 4.87±0.07a   | 3.83±0.07b                                         | 4.95±0.09a   |
| Number of nodes                              | تعداد گره             | 9.26±0.09a                  | 9.20±0.11a   | 10.22±0.14a                        | 10.28±0.1a   | 10.14±0.2a                                         | 9.94±0.1a    |
| Number of leaves                             | تعداد برگ             | 10.30±0.14b                 | 16.97±0.19a  | 11.54±0.1b                         | 15.57±0.11a  | 11.4±0.16b                                         | 17.6±0.21a   |
| Plant height (cm)                            | ارتفاع گیاه           | 97.96±2.15b                 | 126.97±1.38a | 105.77±1.7b                        | 143.94±3.28a | 103.7±1.7b                                         | 141.67±2.08a |
| Stem diameter (mm)                           | قطر ساقه              | 9.1±0.1b                    | 13.1±0.1a    | 11.5±0.16b                         | 16.2±0.19a   | 11.9±0.67b                                         | 16.4±0.29a   |
| Panicle length (cm)                          | طول خوشه              | 13.63±0.28b                 | 18.83±0.29a  | 16.13±0.23b                        | 22.25±0.35a  | 15±0.32b                                           | 23.35±0.22a  |
| Panicle perimeter (cm)                       | محیط خوشه             | 9.66±0.21b                  | 14.13±0.27a  | 11.40±0.38b                        | 19.97±0.28a  | 12.09±0.4b                                         | 20.71±0.23a  |

در هر ستون میانگین‌هایی که با حروف متفاوت نشان داده شده‌اند، بر اساس آزمون t دارای تفاوت معنی‌دار هستند

Means in each column followed by different letter(s) are significantly different using t-test

سبب تولید تعداد گلبرگ و گرده زنده بیشتر، طول ساقه بلندتر و نسبت عرض به طول بیشتر در برگچه‌ها (Kermani *et al.*, 2003) شده است.

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت که تیمار جوانه انتهایی ساقه با کلشی سین روش مناسبی برای القای پلی‌پلوئیدی در گیاه سورگوم با حداکثر تولید گیاهان تتراپلوئید می‌باشد و گیاهان تتراپلوئید حاصل از لحاظ برخی از ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی برتر از گیاهان دیپلوئید هستند که در آزمایش‌های مزرعه‌ای باید کمیت و کیفیت محصول این گیاهان مورد بررسی قرار گیرد.

افزایش اندازه گل‌ها، برگ‌ها، میوه و بذر شده و اغلب گیاهان پلی‌پلوئید دارای اندام‌های بزرگتری نسبت به انواع دیپلوئید خود می‌باشند. افزایش سطوح پلوئیدی در گیاه دارویی بنگدانه (*Hyoscyamus niger*) سبب افزایش ضخامت برگ (Lavania and Srivastava, 1991)، در گیاه دارویی اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia*) سبب تولید گیاهانی با اندازه گل و بذرها بزرگ‌تر و دمگل ضخیم‌تر (Urwin and Horsnell, 2007)، در هندوانه (*Citrulus lanatus*) سبب تولید گیاهانی با قطر ساقه اصلی، ارتفاع و سطح برگ بیشتر (Srivastava and Srivastava, 2002) و در رز

## References

## منابع مورد استفاده

- Adaniya, S. and D. Shira. 2001. In vitro induction of tetraploid ginger (*Zingiber officinali* Roscoe) and its pollen fertility and germinability. *Sci. Hort.* 88: 277-287.
- Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast polyphenoloxidase in *Beta Vulgaris*. *Plant Physiol.* 24(1): 1-15.
- Aryavand, A., B. Ehdaie, B. Tran and J. G. Waines. 2003. Stomatal frequency and size differentiate ploidy levels in *Aegilops neglecta*. *Genet. Resour. Crop Evol.* 50: 175-182.
- Avidov, A., I. Lupo, and L. Rothem, 2013. Cultivated sorghum plant having a partially or fully multiplied genome and uses of same, Google Patents no. WO 2013098820 A1.
- Chakraborti, S. P., K. Vijayan, B. Roy and S. Qadri. 1998. In vitro induction of tetraploidy in mulberry (*Morus alba* L.). *Plant Cell Rep.* 17: 799-803.
- Chance, B. and A. C. Maehly. 1955. Assay of catalases and peroxidases. *Methods Enzymol.* 11: 764-755.
- Delnavaz Hashemlouian, B., A. Ataii Azimi and H. Ghasempour. 2010. Study of polyploidy induction and cytomixis using colchicine in three varieties of sorghum (*Sorghum bicolor*). *J. Biol. Sci. Islamic Azad University Press. Zanjan.* 4: 23-32 (In Persian with English abstract).
- Dhawan, O. P. and U. C. Lavania. 1996. Enhancing the productivity of secondary metabolites via induced polyploidy: a review. *Euphytica.* 87: 81-89.
- Dhooghe, E., K. Van Laere, T. Eeckhaut, L. Leus and J. Van Huylenbroeck. 2010. Mitotic chromosome doubling of plant tissues in vitro. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 104: 359-373.
- Guy, C. L., D. Haskell, L. Neven, P. Klein and C. Smelser. 1992. Hydration-state-responsive proteins link cold and drought stress in spinach. *Planta.* 188: 265-270.
- Kar, M. and D. Mishra. 1976. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf

- senescence. *Plant Physiol.* 57: 315-319.
- Kermani, M. J., V. Sarasan, A. V. Roberts, K. Yokoya, J. Wentworth and V. K. Sieber. 2003.** Oryzalin-induced chromosome doubling in *Rosa* and its effect on plant morphology and pollen viability. *Theor. Appl. Genet.* 107: 1195-1200.
- Kondorosi, E., F. Roudier and E. Gendreau. 2000.** Plant cell size control: growing by ploidy. *Curr. Opin. Plant Biol.* 3: 488-492.
- Laemmli, U. K. 1970.** Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature.* 227: 680-685.
- Lavania, U. C. 2005.** Genomic and ploidy manipulation for enhanced production of phyto- pharmaceuticals. *Plant Gen. Res.* 3: 170-177.
- Lavania, U. C. and S. Srivastava. 1991.** Enhanced productivity of tropane alkaloids and fertility in artificial autotetraploids of *Hyoscyamus niger* L. *Euphytica.* 52: 73-77.
- Liu, S., S. Chen, Y. Chen, Z. Guan, D. Yin and F. Chen. 2011.** In vitro induced tetraploid of *Dendranthema nankingense* (Nakai) Tzvel. shows an improved level of abiotic stress tolerance. *Scientia Hort.* 127: 411-419.
- Mathura, S., A. Fossey and S. Beck. 2006.** Comparative study of chlorophyll content in diploid and tetraploid black Wattle (*Acacia mearnsii*). *Forestry.* 79: 381-388.
- McCready, R. M., J. Guggolz, V. Silveira and H. S. Owens. 1950.** Determination of starch and amylase in vegetables. *Anal. Chem.* 22: 1156-1158.
- Miranda, J. H., M. K. George and S. T. Mery. 1979.** The effects of colchicines and the induction of polyploidy in *Sorghum*. *Agri, Res. J. Kerala.* 17: 208-216.
- Ochatt, S. J., E. M. Patat-Ochatt, A. Moessner. 2011.** Ploidy level determination within the context of in vitro breeding. *Plant cell Tiss. Org. Cult.* 104: 329-341.
- Omokolo, N. D., N. G. Tsala and P. F. Djougoue. 1996.** Changes in carbohydrate, amino acid and phenol content in cocoa pods from three clones after infection with *Phytophthora megakarya* Bra. and Grif. *Ann. Bot.* 77: 153-158.
- Quan, K., L. Guolu, G. Qigao and L. Xiaolin. 2004.** Polyploid induction of *Arctium lappa* by colchicine. *Plant Physiol.* 40: 157-158.
- Quinby, T. R. 1974.** *Sorghum Improvement and the Genetics of Growth*, TX (USA). Texas A & M university press.
- Ranney, T. G. 2006.** Polyploidy: from evolution to new plant development. *Proc. Int. Plant Propagators Soc.* 56: 137-142.
- Schertz, K. F. 1962.** Cytology, fertility and gross morphology of induced polyploidy of *Sorghum vulgar*. Canada, T. *Genet. Cytol.* 4: 179-86.
- Shiga, I., Y. Uno, M. Kanechi and N. Inagaki. 2009.** Identification of polyploidy of in vitro anther-derived shoots of *Asparagus officinalis* L. by flow cytometric analysis and measurement of stomatal length. *J. Jpn*

Soc. Hortic. Sci. 78: 103–108.

- Shoemaker, C. E. and D. I. Bransby. 2010.** The role of sorghum as a bioenergy feedstock. In: Braun, R., D. Karlen and D. Johnson, Sustainable alternative fuel feedstock opportunities, challenges and roadmaps for six U.S. regions, Proceedings of the Sustainable Feedstocks for Advance Biofuels Workshop, Atlanta, GA. 28-30 September. Soil and Water Conserv. Soc., Ankeny, IA. pp. 149-159.
- Srivastava, R. and G. K. Srivastava. 2002.** Autopolyploids of *Helianthus annuus* L. var. Morden. Cytologia. 67: 213-220.
- Thao, N. T. P., K. Ureshino, I. Miyajima, Y. Ozaki and H. Okubo. 2003.** Induction of tetraploids in ornamental Alocasia through colchicine and oryzalin treatments. Plant cell Tiss. Org. Cult. 72: 19-25.
- Urwin, N. A. R. and J. Horsnell. 2007.** Generation and characterization of colchicine induced autotetraploid *Lavandula angustifolia*. Euphytica. 156: 257-266.
- Xie, H. B., Q. C. Huang, G. P. Li, X. L. Wang, C. Y. Ye and G. Y. Qin. 2007.** Differential expression of the proteins in endosperms of rice with different chromosome sets. Hereditas. 29: 360- 4.
- Zhang, X. Y., C. G. Hu, and J. L. Yao. 2010.** Tetraploidization of diploid *Dioscorea* results in activation of the antioxidant defense system and increased heat tolerance. Plant Physiol. 167: 88-94.

## Polyploidy induction and its effects on some morpho-physiologic characteristics in sorghum (*Sorghum bicolor* cv. KFS2)

Sotoodeh Ardabili<sup>1</sup>, G., R. Asghari Zakaria<sup>2</sup> and N. Zare<sup>3</sup>

### ABSTRACT

Sotoodeh Ardabili, G., R. Asghari Zakaria and N. Zare. 2014. Polyploidy induction and its effects on some morpho-physiologic characteristics in sorghum (*Sorghum bicolor* cv. KFS2). *Iranian Journal of Crop Sciences*. 16(2):151-164. (In Persian).

Chromosome manipulation of the plant species for development of genetic variation in morpho-physiological characteristics is a powerful tool in plant breeding. This experiment was conducted at Mohaghegh Ardabili university, Iran, in 2013 to induce tetraploidy in sorghum seed, seedlings and terminal buds of sorghum were treated with colchicine (0.025, 0.05, 0.1 and 0.2%) for 8, 24 and 48 hours. Determination of tetraploid plants was done through the morphological, stomatal and karyological studies. The 0.025% of colchicine for 48 hours and 0.1% of colchicine for 24 hours were the effective treatments for production of tetraploid plants in all treatment. Comparison of diploid and tetraploid plants showed that tetraploid plants had less stomata number but with greater size. Thickness of leaves, plant height, leaf length and width, stem diameter, number of leaves and panicle length and diameter were also higher in these plants. In addition, tetraploid plants had fewer or equal node number with diploid plants, but longer internodes. The chlorophyll, carbohydrates, total soluble protein content of leaf and antioxidant enzymes activity were significantly greater in tetraploid plants. The protein expression patterns studied by SDS-PAGE represented an increase in density of the protein bands in tetraploid plants as compared with diploids. In conclusion, polyploidy induction can be effectively employed in improvement of some morpho-physiological traits in sorghum.

**Key words:** Antioxidant enzymes, Carbohydrate, Colchicine, *Sorghum* and Tetraploidy.

---

Received: January, 2013 Accepted: May, 2014

1- Former MSc. Student, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2- Associate prof., University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran (Corresponding author) (Email: r-asghari@uma.ac.ir)

3- Assistant prof., University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran