

کالوس زایی و باززایی گیاهچه از جنین بالغ، در لاین‌های اینبرد و هیبریدهای ذرت

محمد رضا صلواتی^۱، احمد ارزانی^۲، آفاف خرمیرلوحی^۳ و احمد پانکه‌ساز^۳

چکیده

مطالعه حاضر به منظور ارزیابی واکنش ژنتیکی رایج ذرت در ایران (هیبریدهای و لاین‌های اینبرد آنها) برای کالوس زایی و باززایی از کشت جنین بالغ انجام شد. در این مطالعه از ۲۵ ژنتیپ، مشتمل بر ۱۲ لاین اینبرد، ۱۱ هیبرید سینگل کراس، و یک هیبرید دبل کراس و یک کمپوزیت آزاد گرده افزان استفاده گردید. جنین بالغ لاین‌های اینبرد و هیبریدهای ذرت در دو محیط کشت MS و N6 کشت شده و ارزیابی کالوس زایی با استفاده از صفات وزن ترکالوس، وزن خشک کالوس، رشد نسبی کالوس و سرعت رشد کالوس صورت گرفت. نتایج این آزمایش نشان داد که واکنش ارقام به کالوس زایی و باززایی گیاهچه، از کالوس حاصل از جنین بالغ بسیار متفاوت است. بیشترین ظرفیت تولید کالوس (براساس وزن ترکالوس) در لاین اینبرد IL8، هیبریدهای SC9 (IL6×IL8)، و SCV (IL6×IL8)، و بالاترین میزان رشد نسبی و سرعت رشد کالوس به ترتیب در لاین اینبرد IL1 و هیبرید SC9 مشاهده شد. محاسبه هتروزیس براساس والد برتر، نشان داد که SC9 برای صفات وزن ترکالوس، وزن خشک و سرعت رشد کالوس، دارای بالاترین درصد هتروزیس در بین هیبریدهای مورد مطالعه است. اثر مقابل ژنتیپ و محیط کشت نیز برای صفات وزن ترکالوس، رشد نسبی کالوس و سرعت رشد کالوس معنی دار شد. به عنوان مثال، در محیط کشت MS هیبرید SC9 و در محیط کشت N6 لاین اینبرد IL8، بیشترین سرعت رشد کالوس را داشتند. بین سرعت رشد کالوس در زمان‌های مختلف (۱۶، ۱۲ و ۲۰ روز پس از کشت) اختلاف معنی داری وجود داشت. سرعت رشد کالوس در هشت روز پس از کشت کمترین مقدار را داشت، و به تدریج تا شانزده روز پس از کشت افزایش یافت، اما بعد از این مدت کاهش پیدا کرد. سرعت رشد کالوس دارای دامنه‌ای بین ۵۱/۰ در لاین اینبرد IL11، تا ۷۴/۰ در هیبرید SC9 بود. مقایسه ژنتیپ‌ها نشان داد که اینبرد لاین‌های IL1 و IL10 و هیبریدهای سینگل کراس SC2 و SC4 از بالاترین میزان باززایی گیاه برخوردارند. با توجه به اهمیت باززایی گیاه، که وابستگی زیادی به ژنتیپ دارد، می‌توان تنتجه‌گیری نمود که لاین‌های اینبرد IL1 و IL10 و نیز هیبریدهای SC2 (سینگل کراس ۷۰۴) و SC4 (سینگل کراس ۳۰۱)، برای به کارگیری در برنامه‌های اصلاحی ممکن به کشت بافت در ذرت قابل توصیه می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: کشت جنین بالغ، *Zea mays* L، کالوس زایی، باززایی

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و کارشناس ارشد اصلاح نباتات انسیتو توتون تبرتاش
۲. به ترتیب دانشیار و استادیار زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۳. کارشناس پخش تحقیقات ذرت، موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج

مقدمه

به زرد از کالوس تشکیل می‌گردد. آنها با استفاده از محیط کشتی حاوی ۱۰-۵ میلی گرم در لیتر D-۴ و ۲ با ۶% ۱۲-۶ سوکروز، بهترین نتایج را در پرآوری کالوس به دست آورده‌اند. راپلا (۱۹) پرآوری کالوس را در سطح زیر اسکوتلوم، زمانی که محور جتنی در تماس با محیط کشت بود، مشاهده نمود، و کالوس‌هایی از نوع کالوس جنین‌زای روشن، فشرده و شفاف به دست آورد. برونسمما و همکاران (۵) میزان جذب D-۴ و ۲ را ۱، ۳ و ۵ روز بعد از کشت، در وزن کالوس تر کشت شده اندازه‌گیری کردند، و گزارش نمودند که تفاوت قابلیت جنین‌زایی در دو لاین اینبرد ذرت A۱۸۸ (جنین‌زا) و A۶۳۲ (غیر جنین‌زا) به دلیل تفاوت جذب D-۴ و ۲ نبوده است. همچنین، آنالیز کربن ۱۴ نشان‌دار موجود در D-۴ و ۲ محیط کشت، نشان داد که ۲۴ ساعت بعد از کشت حدود ۷۰% D-۴ و ۲ موجود در بافت کشت شده در لاین اینبرد A۱۸۸ و A۳۷ درصد D-۴ و ۲ موجود در بافت کشت شده در لاین A۶۳۲ بود. آنها در نهایت نتیجه‌گیری کردند که تفاوت‌های تمايزی در کشت‌های جنین نارس لاین‌های جنین‌زا و غیر جنین‌زا، ممکن است ناشی از تفاوت در سطح D-۴ و ۲ آزاد و متابولیسم آن باشد.

واسیل و همکاران (۲۵) مشاهده نمودند که اسکوتلوم جنین‌های نارس ذرت، کالوس جنین‌زای فشرده و زرد روشن ایجاد کردند، که از آنها جنین‌های غیرجنسی ایجاد شد. کالوس‌های نرم و جنین‌زا، با واکشت کردن هر سه هفته یک بار، برای مدت یک سال زنده باقی ماندند، و بعد از این دوره هنوز قابلیت تشکیل جنین‌های غیرجنسی را دارا بودند. بنا به گزارش گرین و فیلیپ (۱۰)، کشت‌های کالوس حاصل از جنین ذرت، بیشتر از اسکوتلوم و روی محیط کشت MS حاوی دو میلی گرم در لیتر D-۴ و ۲ ایجاد می‌شوند. محیط کشت حاوی چهار میلی گرم D-۴ و ۲ در کالوس‌زایی جنین تأثیر کمتری داشته است. محیط کشت حاوی یک میلی گرم در لیتر D-۴ و ۲ بیشتر سبب رشد ریشه و اندام هوایی جنین کشت شده ذرت گردیده و تشکیل کالوس را از اسکوتلوم محدود نموده است.

کشت جنین گیاهی^۱ یکی از قدیمی‌ترین شاخه‌های کشت بافت گیاهی است، که به طور کاربردی و در تحقیقات بنیادی و به نژادی گیاهان به کار می‌رود. این روش بر مبنای جداسازی جنین در شرایط سترون، و انتقال آن به یک محیط کشت مناسب به منظور ادامه رشد و نمو تحت شرایط بهینه، پایه گذاری شده است (۱۴). قابلیت نمو یک سلول یا بافت در حضور محركی خاص مثل هورمون تو، فور-دی (D-۴ و ۲) در محیط کشت، به توانایی رقابت آن بستگی دارد. با توجه به این که عموماً بیشترین روابط جنین‌زایی (کالوس‌های شبه جنین)، در میان بافت‌های غیر مریستمی گیاه، از جمله جنین، گیاهچه و ساختارهای گل صورت می‌گیرد، بنابراین، از جنین به عنوان مناسب‌ترین ریز نمونه برای ایجاد کالوس‌زایی در محیط کشت استفاده می‌شود (۱۰).

به طور کلی دو نوع کالوس جنین‌زا در ذرت تولید می‌شود. کالوس‌های نوع اول که دارای ظاهری فشرده و سفید رنگ هستند و در محیط‌های کشت موراشیک و اسکوگ (MS) با غلظت زیاد سوکروز (شش درصد) یافت می‌شوند (۱). در مقابل، کالوس‌های نوع دوم از نظر ساختمانی گرد و شکنده، زرد کم رنگ، دارای رشد سریع، ظرفیت باززنایی بالا و تمايز نیافته (بجز در مناطق گلبوی شکل پیش جنینی) هستند، و در محیط کشت MS و نیچ (N6) با غلظت پایین سوکروز (دو درصد) به دست می‌آیند. کالوس‌های خرد شونده برای تولید کشت‌های سوسپانسیون یا پرتوپلاست، که دارای ظرفیت باززنایی باشند، ارزشمند است (۱).

واسیل و همکاران (۲۴) گزارش نمودند که جنین‌های ذرت هر گاه بر روی محیط غذایی حاوی تو، فور-دی (D-۴ و ۲) کشت شوند، قادر به تولید کالوس اندام‌زا هستند. این کالوس از ازدیاد سلولی بافت اسکوتلوم در طرف انتهای ریشه حاصل می‌شود. بدین ترتیب که پس از تشکیل بافت متورمی در ناحیه گره لپه‌ای جنین ذرت، توده‌ای متراکم، شفاف و سفید متمایل

1. Plant embryo culture

ذرت در ایران، از لحاظ کالوس زایی و باززایی از ریزنمونه جنین بالغ در دو محیط کشت MS و N6 پرداخته است.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و محیط کشت القای کالوس

از بذرهای ۲۵ ژنتیپ ذرت، مشتمل بر ۱۲ لاین اینبرد، ۱۱ هیبرید سینگل کراس، یک هیبرید دبل کراس و یک کمپوزیت تهیه شده از بخش تحقیقات ذرت موسسه اصلاح و تهیه بذر و نهال کرج استفاده شد (جدول ۱). این آزمایش در سال ۱۳۷۶ در آزمایشگاه کشت بافت‌های گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان اجرا گردید.

برای سترون‌سازی بذرهای رسیده، ابتدا از اثانول ۷۰٪ به مدت یک دقیقه، و سپس از محلول ۱٪ هیپوکلریت سدیم به مدت ۲۰ دقیقه استفاده شد. بعد از آب‌شویی با آب مقطر استریل، از جنین بذرها برای القای کالوس استفاده گردید (۶ و ۷). دو محیط کشت القایی MS (۱۸) و N6 (۷) حاوی عناصر پرمصرف، کم مصرف و ویتامین‌ها، که به آن دو میلی گرم در لیتر D-۴ و ۲، یک میلی گرم در لیتر کاپتون، ۲۰ میلی مولار ال-پرولین و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر کازوئین هیدرولیزات و پنج درصد سوکروز اضافه شده بود، مورد استفاده قرار گرفت.

برای نیمه جامد سازی محیط کشت، از ۲/۴ گرم در لیتر آگارز (نوع ۱A، سیگما) استفاده شد، بدین ترتیب که چهار جنین بالغ هر ژنتیپ مورد مطالعه در یک ظرف پتري با قطر پنج سانتی متر، در هر کدام از محیط‌های کشت القایی (MS و N6) قرار داده شد، و در دمای ۲۸ درجه سانتی گراد در تاریکی نگهداری گردید. لازم به توضیح است که، در این آزمایش جنین‌ها از طرف محور جنینی روی محیط کشت قرار گرفتند، به طوری که اسکوتلوم به طرف بالا قرار داشت. برای هر رقم در هر محیط کشت، هفت تکرار در نظر گرفته شد.

غلظت‌های بالای سوکروز موجب تشکیل کالوس متراکم هم از اسکوتلوم و هم از بافت متورم گره محور جنینی گردیده است. در گزارش واسیل و همکاران (۲۴)، تأثیر غلظت D-۴ و ۲ بر کیفیت و کمیت کالوس جنین‌زای حاصل از جنین ذرت، به اندازه تأثیر سوکروز نیست. وضعیت قرارگیری جنین ذرت روی محیط کشت، بدین صورت که اسکوتلوم به طرف بالا و گره محور جنینی در تماس با محیط کشت باشد، در تحریک پرآوری و تشکیل بافت کالوس جنین‌زا نقش دارد (۲۴). در گندم نیز بهترین طریقه تولید کالوس‌های جنینی از بافت‌های اسکوتلومی و اپی بلاستی، جنین نارس یا جنین بالغ شناخته شده است (۱۲).

بنابراین تعدادی از پژوهشگران (۳، ۱۱، ۱۵ و ۲۴)، کشت‌های کالوس حاصل از جنین‌های نارس ذرت، هم از طریق تشکیل جوانه‌های ساقه و هم از طریق تشکیل جنین‌های غیرجنینی، باززایی می‌شوند. هم‌چنین، گزارش شده که ممکن است گیاهچه ذرت از کنار ساختمانهای متراکم و سفید رنگی موسوم به اندام‌های اسکوتلومی^۱ باززایی شوند. در مطالعات دیگری (به نقل از ۱۰) روی گیاهان مختلف از جمله گندم، مشخص گردید که ساختمانهای برگی شکل تشکیل شده در هنگام باززایی، در حقیقت همان جنین‌های غیرجنینی هستند که در حال جوانه‌زنی می‌باشند. باززایی کالوس‌های حاصل از گره محور جنینی ذرت (۲۴) و کالوس‌های اسکوتلومی (۱۵) جنین نارس، از طریق جنین‌زایی سوماتیکی انجام می‌شود.

از تولید کالوس برای تکثیر کلونی ژنتیپ‌ها، گزینش این ویترو برای مقاومت به تنش‌های زنده و غیر زنده، و در مهندسی ژنتیک به منظور انتقال ژن مورد نظر استفاده می‌شود. با توجه به دستاوردهای ژنتیک مولکولی ذرت، استفاده از کشت کالوس در این گیاه برای ترانسفورماسیون ژنی حائز اهمیت زیادی است (۳، ۸ و ۱۳). بنابراین، ضرورت مطالعه واکنش ژنتیپ‌ها به کالوس زایی، و شناسایی محیط کشت مناسب برای رشد کالوس و باززایی گیاهچه‌ها بدیهی می‌نماید. مطالعه حاضر به بررسی واکنش لاین‌های اینبرد و هیبریدهای رایج

1. Scutellar bodies

جدول ۱. کد، نام مخفف^۱، ژنوتیپ و منشأ لاین‌های اینبرد و هیبریدهای ذرت مورد مطالعه

کد	نام مخفف	لاین اینبرد / هیبرید	منشأ
۱	IL _۱	B۷۳	آمریکا
۲	IL _۲	L۱۰۵	بوگسلاوی سابق
۳	IL _۳	MO۱۷/۱۱-۱	آمریکا
۴	IL _۴	K۷۲۲	کرج
۵	IL _۵	S۶۱	بوگسلاوی سابق
۶	IL _۶	TVA۹۲۶	بوگسلاوی سابق
۷	IL _۷	K۱۲۶۴/۱	کرج
۸	IL _۸	K۱۲۶۳/۸	کرج
۹	IL _۹	K۷۱۸/۳	کرج
۱۰	IL _{۱۰}	FC۳۹۳	بوگسلاوی سابق
۱۱	IL _{۱۱}	K۱۳۶۹	کرج
۱۲	IL _{۱۲}	TD۸۱/۱-۱۱	بوگسلاوی سابق
۱۳	SC _۱	IL _۱ ×IL _۷ =SC۷۱۱	
۱۴	SC _۷	IL _۷ ×IL _۳ =SC۷۰۴	
۱۵	SC _۳	IL _۱ ×IL _۴ =SC۶۰۴	
۱۶	SC _۴	IL _۴ ×IL _۵ =SC۳۰۱	
۱۷	SC _۵	IL _۵ ×IL _۶ =SC۱۰۸	
۱۸	SC _۶	IL _۴ ×IL _۷	
۱۹	SC _۷	IL _۴ ×IL _۸	
۲۰	SC _۸	IL _۶ ×IL _۹	
۲۱	SC _۹	IL _۶ ×IL _{۱۰}	
۲۲	SC _{۱۰}	IL _{۱۱} ×IL _{۱۲}	
۲۳	SC _{۱۱}	IL _{۱۲} ×OH۴۳/۱Ht	
۲۴	Co	KO۶	آمریکا (آریزونا)
۲۵	DC	(R۵۹×R۳۱۹)×(W۵۳R×W۳۷A)=DC۳۷۰	

۱. IL = لاین اینبرد

SC = سینگل کراس

DC = دبل کراس

CO = کمپوزیت

مشاهدات قطری این نمونه کالوس قرار داشته باشد. سپس با استفاده از فرمول ارائه شده توسط گالیبا و همکاران (۹) میزان رشد نسبی کالوس RGR محاسبه شد.

$$RGR = [(lnw_2 - lnw_1) / (t_2 - t_1)] \times 10^3$$

که در آن lnw_1 لگاریتم پایه ده وزن تر کالوس در هشت روز (t_1) بعد از کشت، و lnw_2 لگاریتم پایه ده وزن تر کالوس در ۲۰ روز (۱۶) بعد از کشت می‌باشد.

باززایی گیاهان

بعد از گذشت سه هفته از القای کالوس، کالوس‌ها به محیط باززایی منتقل گردیدند. در این مرحله محیط کشت عناصر باززایی استفاده شد، که این محیط کشت حاوی عناصر پرصرف، کم مصرف و ویتامین‌های محیط کشت پایه MS به اضافه یک میلی‌گرم در لیتر IAA، یک میلی‌گرم در لیتر BA، سه درصد سوکروز و ۲۰ گرم در لیتر آگارز بود. ظروف حاوی محیط کشت باززایی، پس از نام‌گذاری و مسدود شدن با پارافیلم، در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد و طول روز ۱۶ ساعت، در انکوباتور نگهداری شدند. در نهایت، برای محاسبه فراوانی باززایی گیاهچه، تعداد کل گیاهچه‌های حاصل از ۱۰۰ کالوس کشت شده مورد استفاده قرار گرفت.

تجزیه آماری

برای تجزیه آماری نتایج از طریق تجزیه واریانس با استفاده از برنامه مدل عمومی رگرسیون (GLM) و مقایسه میانگین‌های صفات با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار فیشر (LDS)، از نرم‌افزار کامپیوتی اس. ا. اس (۲۲) استفاده گردید. به منظور تجزیه واریانس صفات وزن تر کالوس، وزن خشک، رشد نسبی کالوس، متوسط سرعت رشد کالوس و باززایی گیاهچه، از آزمایش فاکتوریل با دو عامل ژنتیک و محیط کشت استفاده شد. تجزیه واریانس سرعت رشد کالوس (میلی‌متر در روز) در چهار زمان (۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ روز پس از کشت)، به صورت طرح کرت‌های یک بار خرد شده در زمان انجام گردید.

بررسی واکنش ژنتیک‌ها

میزان متوسط قطر کالوس حاصل از رشد جنین در ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ روز پس از کشت، برای هر ژنتیک در هر کدام از محیط‌های کشت یادداشت برداری شد. برای محاسبه متوسط قطر کالوس در ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ روز پس از کشت با استفاده از بینوکولار، طول کالوس در جهت بلندترین محور، و بزرگ‌ترین عرض عمود بر این محور اندازه گیری، و از میانگین این دو پارامتر برای محاسبه متوسط قطر کالوس استفاده گردید (۲۳). سپس به منظور محاسبه سرعت رشد کالوس (CGR) در زمان‌های یادداشت برداری شده، از تقسیم متوسط قطر کالوس بر زمان یادداشت برداری مطابق فرمول‌های زیر استفاده به عمل آمد:

$$CGR_1 = d_8 / 8 \quad CGR_2 = d_{12} / 12$$

$$CGR_3 = d_{16} / 16 \quad CGR_4 = d_{20} / 20$$

در این فرمول‌ها d_8 ، d_{12} ، d_{16} و d_{20} به ترتیب متوسط قطر کالوس (میلی‌متر) در ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ روز پس از کشت بوده و CGR_۱ تا CGR_۴ به ترتیب سرعت رشد کالوس (میلی‌متر در روز) در ۸ تا ۲۰ روز پس از کشت می‌باشند. در نهایت، برای محاسبه متوسط رشد کالوس (میلی‌متر قطر در روز)، میانگین سرعت رشد کالوس در چهار زمان یادداشت برداری شده مطابق با گزارش ارزانی و میراجاق (۲) مورد استفاده قرار گرفت.

با توجه به اهمیت استفاده از معیار وزن کالوس در ارزیابی، و این که استفاده از روش مستقیم توزین به دلیل آسیب‌دیدگی و آلوهه شدن کالوس‌ها برای همه تکرارها امکان‌پذیر نبود، برای تخمین وزن تر و خشک کالوس از معادلات رگرسیون استفاده شد (۲۳). معادلات رگرسیون لگاریتمی ($Y = aX^b$) برای برآورد وزن تر و خشک کالوس (میلی‌گرم)، از طریق رابطه وزن تر و خشک کالوس‌های یک تکرار با متوسط قطر کالوس (میلی‌متر) در زمان‌های مختلف یادداشت برداری، و در کلیه تیمارهای سایر تکرارها به کار رفت. لازم به ذکر است که به منظور جلوگیری از خطرات برون یابی رگرسیونی، قطعات نمونه کالوس انتخابی برای محاسبات به گونه‌ای انتخاب شد که داده‌های حاصل از قطر کالوس‌های آزمایش اصلی در محدوده

می‌توان دریافت که وزن ترکالوس در طی دوره رشد تفاوت چندانی نداشته، اما قطر کالوس در این لاین افزایش بیشتری نسبت به دیگر ژنتیپ‌ها داشته است. این امر ممکن است به دلیل کم بودن وزن حجمی کالوس این ژنتیپ، به خاطر جذب آب کمتر باشد. شایان ذکر است که وزن ترکالوس به عنوان برآورد بهتری از رشد کالوس نسبت به قطر کالوس گزارش شده است (۲۳ و ۲۴).

محاسبه درصد هتروزیس براساس والد برتر برای رشد نسبی کالوس، نشان داد که تنها هیبریدهای SC۹ و SC۷، به ترتیب با $۸/۲$ و $۱/۲$ درصد، دارای هتروزیس برای این صفت بودند، و هیبریدهای دیگر برای این صفت هتروزیس نشان ندادند. هم‌چنانی SC۹ بیشترین درصد هتروزیس ($۲۱/۸$) را برای سرعت رشد کالوس داشت، در حالی که هیبرید سینگل کراس ۷۱۱ با $۶/۹$ درصد هتروزیس در مرتبه دوم قرار گرفت. اثر متقابل ژنتیپ و محیط کشت نیز برای رشد نسبی کالوس و سرعت رشد کالوس معنی دار بود. مقایسه میانگین این اثر متقابل، نشان داد که لاین IL۱۱ در محیط کشت MS با $۱۲/۴$ میلی‌گرم بیشترین مقدار رشد نسبی کالوس را داشت، در حالی که در محیط کشت N6، هیبرید دبل کراس ۳۷۰ با $۱۲/۸$ میلی‌گرم دارای بیشترین مقدار رشد نسبی کالوس بود. مقایسه میانگین اثر متقابل ژنتیپ و محیط کشت برای متوسط سرعت رشد کالوس نشان داد که هیبرید SC۹ بیشترین مقدار را در محیط کشت MS با $۸/۳$ میلی‌متر قطر در روز داشته، و لاین اینبرد IL۸ و کمپوزیت KO۶، به ترتیب با $۷/۵$ و $۷/۴$ میلی‌متر قطر در روز، بیشترین مقدار متوسط سرعت رشد کالوس در محیط کشت N6 را داشتند (شکل ۱). این امر نشان می‌دهد که شرایط مطلوب برای هر رقم، در محیط کشت معینی فراهم می‌شود. این نتایج با گزارش راپلا (۱۹)، که اثر متقابل معنی‌داری برای کالوس زایی از جنین نارس در هفت ژنتیپ ذرت و دو محیط کشت به دست آورده، هماهنگی دارد.

اثر متقابل ژنتیپ در زمان برای سرعت رشد کالوس نیز معنی‌دار بود. مقایسه میانگین در ژنتیپ‌های ذرت، برای

نتایج و بحث

تفاوت بین ژنتیپ‌ها از لحاظ رشد نسبی کالوس و متوسط رشد کالوس، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). لاین اینبرد ۱، IL۱۱، و دبل کراس ۳۷۰ ، به ترتیب با $۱۱۷/۷$ و $۱۱۶/۹$ میلی‌گرم، دارای بیشترین مقدار رشد نسبی کالوس بودند، و به همراه لاین اینبرد ۱۱، IL۱۱، با مقدار $۱۱۱/۵$ ، در گروه اول آزمون LSD ($P < 0.01$) قرار گرفتند. از بین ژنتیپ‌های مورد مطالعه، هیبرید SC۹ و لاینهای اینبرد IL۸ و IL۱۰، به ترتیب با مقادیر $۷۲/۶۶$ و $۸۶/۱$ میلی‌گرم، کمترین مقدار رشد نسبی کالوس را داشته و در گروه آخر این آزمون قرار گرفتند (جدول ۲).

از لحاظ متوسط سرعت رشد کالوس، هیبرید SC۹ و دبل کراس ۳۷۰ ، به ترتیب با $۷/۳۸$ و $۷/۳۱$ میلی‌متر قطر در روز، بیشترین، و لاین اینبرد IL۱۱ و هیبرید SC۱۱، به ترتیب با مقادیر $۵۰/۵$ و $۵۴/۵$ میلی‌متر در روز، کمترین متوسط سرعت رشد کالوس را در بین ژنتیپ‌های مورد مطالعه داشتند. نتیجه قابل توجهی که با مشاهده جدول ۲ به دست می‌آید، این است که هیبرید SC۱۱ و دبل کراس ۳۷۰ واکنش کاملاً متفاوتی برای رشد نسبی کالوس و سرعت رشد کالوس نشان دادند، به طوری که دبل کراس ۳۷۰ دارای بیشترین مقادیر، و SC۱۱ دارای کمترین مقادیر برای هر دو صفت بودند. لاین اینبرد IL۸ از نظر رشد نسبی کالوس از پایین‌ترین رتبه برخوردار بود، اما سرعت رشد کالوس مناسبی داشته و جزو برترین ژنتیپ‌ها می‌باشد. هم‌چنانی، لاین اینبرد IL۱۱ بر خلاف لاین IL۸ دارای رشد نسبی کالوس مناسب بوده، اما کمترین مقدار سرعت رشد کالوس را داشت. با توجه به این که رشد نسبی کالوس براساس وزن ترکالوس و سرعت رشد کالوس براساس قطر کالوس محاسبه شده است، می‌توان دریافت که لاین اینبرد IL۱۱، اگر چه در طی دوره رشد افزایش نسبی کمی در قطر کالوس نشان داده، اما وزن تر آن افزایش زیادی داشته است. این موضوع نشان دهنده بالاتر بودن وزن نسبی کالوس این لاین، احتمالاً به دلیل جذب آب بیشتر است. با حالت عکس در مورد لاین اینبرد IL۸

کالوس زایی و باززایی گیاهچه از جنین بالغ، در لاین‌های اینبرد و هیبریدهای ذرت

جدول ۲. مقایسه میانگین‌های کالوس زایی جنین بالغ (وزن تر و خشک و رشد نسبی کالوس) و باززایی کالوس‌ها در لاین‌های اینبرد و هیبریدهای ذرت مورد مطالعه

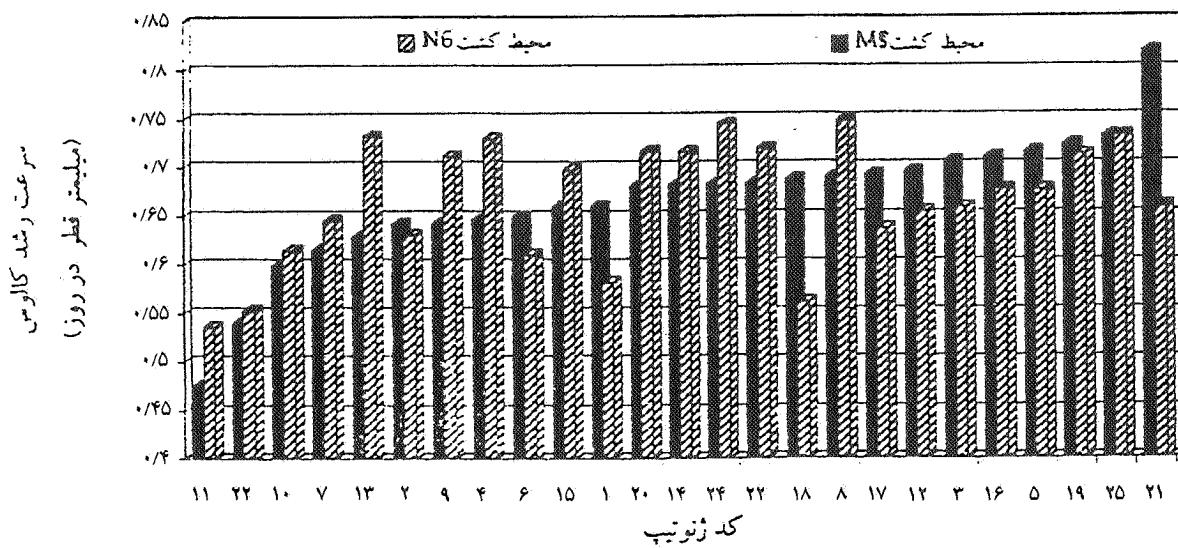
نام مخفف	وزن تر	وزن خشک	رشد نسبی کالوس	باززایی گیاهچه
IL ₁	۲۴۴/V ^{b-d}	۹/۳۳۴ ^{b-d}	۱۱۷/V ^a	۷۱/۴ ^a
IL _۲	۲۴۷/V ^{b-d}	۹/۴۴۰ ^{a-d}	۹۹/۲۹ ^{b-d}	۲۶/۸ ^{cd}
IL _۳	۲۷۶/V ^{a-d}	۱۰/۳۹ ^{a-c}	۱۰۶/V ^{a-c}	۴۴/۶ ^{a-d}
IL _۴	۲۷۵/V ^{a-d}	۱۰/۳۷ ^{a-c}	۹۴/۱۹ ^{c-e}	۲۶/۸ ^{cd}
IL _۵	۲۸۴/V ^{a-c}	۱۰/۴۸ ^{a-c}	۱۰۳/V ^{a-c}	۴۴/۶ ^{a-d}
IL _۶	۲۴۲/V ^{b-d}	۹/۳۸۷ ^{a-d}	۱۰۲/V ^{a-d}	۱۷/۹ ^d
IL _۷	۲۴۴/V ^{b-d}	۹/۴۴۶ ^{a-d}	۱۰۳/V ^{a-c}	۵۳/۶ ^{a-c}
IL _۸	۲۸۹/V ^{ab}	۱۰/V ^{a-c}	۸۰/V ^{ef}	۳۵/V ^{b-d}
IL _۹	۲۶۸/V ^{a-d}	۱۰/۱۲ ^{a-c}	۹۶/۹۲ ^{b-e}	۳۵/V ^{b-d}
IL _{۱۰}	۲۲۳/V ^{d-f}	۸/۹۸۲ ^{c-e}	۸۶/۱۰ ^{d-f}	۶۲/۵ ^{ab}
IL _{۱۱}	۱۷۴/V ^f	۷/۴۰۸ ^e	۱۱۱/V ^{ab}	۴۴/۶ ^{a-d}
IL _{۱۲}	۲۶۶/V ^{a-d}	۱۰/۰۹ ^{a-c}	۹۴/۹۰ ^{c-e}	۳۵/V ^{b-d}
SC _۱	۲۷۱/V ^{a-d}	۱۰/۱۹ ^{a-c}	۹۳/۹۹ ^{c-e}	۴۴/۶ ^{a-d}
SC _۲	۲۸۵/V ^{a-c}	۱۰/۵۷ ^{a-c}	۱۰۶/V ^{a-c}	۶۲/۵ ^{ab}
SC _۳	۲۷۴/V ^{a-d}	۱۰/۴۲ ^{a-c}	۱۰۷/V ^{a-c}	۵۳/۶ ^{a-c}
SC _۴	۲۷۵/V ^{a-d}	۱۰/۳۰ ^{a-c}	۱۰۳/V ^{a-c}	۶۲/۵ ^{ab}
SC _۵	۲۳۴/V ^{c-e}	۹/۱۷۳ ^{b-e}	۹۹/V ^{b-d}	۴۴/۶ ^{a-d}
SC _۶	۲۳۴/V ^{c-e}	۹/۲۱۹ ^{b-e}	۹۰/V ^{c-e}	۲۶/۸ ^{cd}
SC _۷	۲۹۴/V ^{ab}	۱۰/۸۶ ^{ab}	۱۰۱/V ^{a-d}	۴۴/۶ ^{a-d}
SC _۸	۲۸۴/V ^{a-c}	۱۰/۵۵ ^{a-c}	۱۰۳/V ^{a-c}	۲۶/۸ ^{cd}
SC _۹	۳۱۰/V ^a	۱۱/۲۷ ^a	۱۰۳/V ^{a-c}	۳۵/V ^{b-d}
SC _{۱۰}	۲۸۶/V ^{a-c}	۱۰/۶۲ ^{a-c}	۱۰۳/V ^{a-c}	۲۶/۸ ^{cd}
SC _{۱۱}	۱۸۶/V ^{ef}	۷/V ^{ef}	۷۲/۶۶ ^f	۱۷/۹ ^d
Co	۲۷۴/V ^{a-d}	۱۰/۴۲ ^{a-c}	۱۰۷/V ^{a-c}	۴۴/۶ ^{a-d}
DC	۲۸۰/V ^{a-c}	۱۰/۳۶ ^{a-c}	۱۱۶/V ^a	۴۴/۶ ^{a-d}
LSD	۵۳/V۸	۱/۸۸۷	۱۶/V۰	۳۱/V۸

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه نیستند، با یکدیگر اختلاف معنی دار دارند ($P < 0.05$).

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل ژنتیک و زمان برای سرعت رشد کالوس در لاین‌های اینبرد و هیریدهای ذرت مورد مطالعه

میانگین	روز پس از کشت (میلی‌متر)				نام محخف
	۲۰	۱۶	۱۲	۸	
◦/۶۱۹۹gh	◦/۵۶۰۶ ^{a-g}	◦/۶۹۵۵ ^{a-e}	◦/۵۹۱۵ ^{de}	◦/۶۲۷۴ ^{a-e}	IL _۱
◦/۶۳۵۹ ^{d-h}	◦/۵۸۳۲ ^{d-g}	◦/۶۸۰۶ ^{a-e}	◦/۶۶۵۲ ^{b-d}	◦/۶۰۹۶ ^{b-e}	IL _۲
◦/۶۸۱۴ ^{a-f}	◦/۶۴۵۸ ^{b-f}	◦/۷۳۲۴ ^{a-c}	◦/۶۶۹۶ ^{b-d}	◦/۶۷۷۷ ^{a-d}	IL _۳
◦/۶۸۷۲ ^{a-e}	◦/۶۳۹۹ ^{b-f}	◦/۷۱۱۲ ^{a-e}	◦/۷۲۰۴ ^{ab}	◦/۶۷۲۱ ^{a-e}	IL _۴
◦/۶۹۰۳ ^{a-c}	◦/۶۴۴۴ ^{b-f}	◦/۷۳۴۶ ^{a-c}	◦/۷۰۰۹ ^{a-d}	◦/۷۰۱۱ ^{a-c}	IL _۵
◦/۶۲۹۰ ^{f-h}	◦/۶۲۵۱ ^{c-g}	◦/۶۵۸۷ ^{b-c}	◦/۶۳۳۹ ^{b-d}	◦/۵۹۸۵ ^{c-f}	IL _۶
◦/۶۳۰۲ ^{e-h}	◦/۶۴۹۹ ^{b-f}	◦/۶۴۰۳ ^{c-e}	◦/۶۱۸۳ ^{b-d}	◦/۶۱۷۴ ^{b-e}	IL _۷
◦/۷۱۸۴ ^{a-c}	◦/۷۰۶۸ ^{a-c}	◦/۷۰۰۱ ^{a-e}	◦/۷۹۲۲ ^a	◦/۶۷۴۴ ^{a-d}	IL _۸
◦/۶۷۶۳ ^{b-g}	◦/۶۶۳۷ ^{b-e}	◦/۶۹۸۹ ^{a-e}	◦/۷۰۳۱ ^{a-b}	◦/۶۳۹۷ ^{a-e}	IL _۹
◦/۶۰۶۳ ^h	◦/۶۱۴۶ ^{c-g}	◦/۵۹۸۴ ^{ef}	◦/۶۵۴۰ ^{b-d}	◦/۵۵۸۳ ^{e-g}	IL _{۱۰}
◦/۵۰۵۵ ⁱ	◦/۵۱۹۳ ^g	◦/۵۲۰۹ ^f	◦/۴۹۰۵ ^e	◦/۴۸۱۳ ^g	IL _{۱۱}
◦/۶۷۴۵ ^{b-g}	◦/۶۷۴۱ ^{b-e}	◦/۶۸۸۹ ^{a-e}	◦/۷۰۰۹ ^{a-d}	◦/۶۳۴۱ ^{a-e}	IL _{۱۲}
◦/۶۸۰۱ ^{b-f}	◦/۶۷۵۵ ^{b-e}	◦/۶۹۰۱ ^{a-e}	◦/۷۰۹۸ ^{a-c}	◦/۶۴۵۳ ^{a-e}	SC _۱
◦/۶۹۸۰ ^{a-c}	◦/۶۷۵۶ ^{b-e}	◦/۷۴۸۴ ^{a-c}	◦/۶۸۳۳ ^{a-d}	◦/۶۸۴۸ ^{a-d}	SC _۲
◦/۶۷۷۵ ^{b-g}	◦/۸۰۴۴ ^a	◦/۶۴۹۱ ^{c-e}	◦/۶۰۷۴ ^{c-e}	◦/۶۴۹۱ ^{a-e}	SC _۳
◦/۶۹۲۹ ^{a-d}	◦/۶۸۴۵ ^{b-d}	◦/۷۱۸۹ ^{a-d}	◦/۷۰۶۸ ^{a-c}	◦/۶۶۱۴ ^{a-e}	SC _۴
◦/۶۶۳۸ ^{c-h}	◦/۶۴۸۱ ^{b-f}	◦/۶۹۲۱ ^{a-e}	◦/۶۸۰۵ ^{a-d}	◦/۶۲۹۶ ^{a-e}	SC _۵
◦/۶۲۴۰ ^{f-h}	◦/۶۲۸۱ ^{b-g}	◦/۶۱۴۳ ^{d-f}	◦/۶۶۷۴ ^{b-d}	◦/۵۸۶۲ ^{d-g}	SC _۶
◦/۷۱۷۰ ^{a-c}	◦/۷۱۱۳ ^{a-c}	◦/۷۵۱۳ ^{a-c}	◦/۷۱۸۸ ^{a-c}	◦/۶۸۶۶ ^{a-d}	SC _۷
◦/۶۹۷۴ ^{a-c}	◦/۶۸۷۵ ^{b-d}	◦/۷۲۷۹ ^{a-d}	◦/۶۸۷۵ ^{a-d}	◦/۶۸۶۶ ^{a-d}	SC _۸
◦/۷۳۸۴ ^a	◦/۷۴۱۱ ^{ab}	◦/۷۶۹۲ ^{ab}	◦/۷۲۷۷ ^{ab}	◦/۷۱۵۶ ^{ab}	SC _۹
◦/۷۰۰۴ ^{a-c}	◦/۶۹۹۵ ^{a-c}	◦/۷۲۷۹ ^{a-d}	◦/۶۸۷۵ ^{a-d}	◦/۶۸۶۶ ^{a-d}	SC _{۱۰}
◦/۵۴۰۲ ⁱ	◦/۵۴۴۷ ^{fg}	◦/۵۱۱۴ ^f	◦/۶۳۶۱ ^{b-d}	◦/۴۸۹۱ ^{fg}	SC _{۱۱}
◦/۷۱۲۹ ^{a-c}	◦/۷۰۴۱ ^{a-c}	◦/۷۴۳۶ ^{a-c}	◦/۷۱۸۸ ^{a-c}	◦/۶۸۰۵ ^{a-d}	C _۰
◦/۷۳۱۵ ^{ab}	◦/۷۲۴۷ ^{a-c}	◦/۷۷۳۷ ^a	◦/۶۹۴۲ ^{a-d}	◦/۷۳۲۴ ^a	DC
◦/۰۵۷۹۷	◦/۱۱۴۴	◦/۱۱۴۴	◦/۱۱۴۴	◦/۱۱۴۴	LSD

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه نیستند، با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند ($P < 0.01$).



شکل ۱. اثر متقابل ژنتیپ و محیط کشت در سرعت رشد کالوس حاصل از کشت جنین بالغ، در لاین‌های اینبرد و هیبریدهای ذرت مورد مطالعه

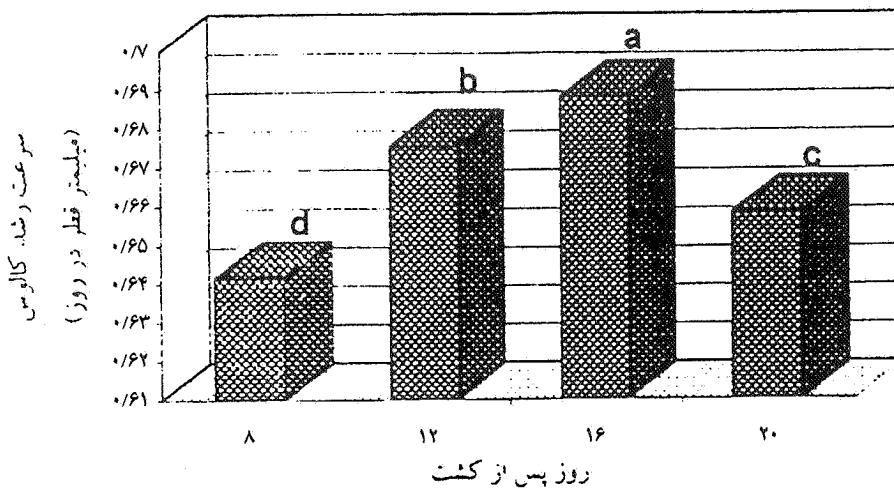
جنین بالغ ذرت، تفاوت معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد بین ژنتیپ‌ها نشان داد. مقایسه میانگین‌های ژنتیپ‌های مورد مطالعه برای وزن تر کالوس، نشان داد که هیبرید SC9 با میانگین ۳۱۰/۷ میلی‌گرم کالوس بیشترین میزان تولید وزن تر کالوس را در محیط‌های کشت و زمان‌های مختلف داشته، و به همراه لاین اینبرد IL8 و هیبرید SC7، به ترتیب با ۲۸۹/۱ و ۲۹۴/۷ میلی‌گرم وزن تر کالوس، در بالاترین رتبه قرار گرفتند (جدول ۲).

از بین ژنتیپ‌های مورد مطالعه، لاین‌های اینبرد IL1۰ و IL11 و هیبرید SC11 کمترین میزان وزن تر کالوس را داشته و به ترتیب با میانگین‌های ۱۷۴/۸، ۲۲۳/۳ و ۱۸۶/۷ گرم وزن تر در آخرین رتبه قرار گرفتند. مقایسه میانگین ژنتیپ‌های مورد مطالعه، برای وزن خشک کالوس، نشان داد که ژنتیپ‌هایی که بیشترین و کمترین وزن تر کالوس را داشتند، بیشترین و کمترین وزن خشک را نیز دارند، به طوری که هیبریدهای SC7 و SC9 به ترتیب با میانگین‌های ۱۱/۲۷ و ۱۰/۸۶ میلی‌گرم، بیشترین وزن خشک و لاین اینبرد IL11 با ۷/۴۱ میلی‌گرم کمترین وزن خشک کالوس را داشتند (جدول ۲). این نتایج حاکی از تنوع

سرعت رشد کالوس در زمان‌های مختلف کشت، نشان داد که حداقل رشد کالوس برای هر رقم در زمان معنی‌مند صورت می‌گیرد (جدول ۳). به طوری که هشت روز پس از کشت هیبرید دبل کراس ۳۷۰، ۷۳۰ میلی‌متر قطره در روز رشد داشت. پس از دوازده روز لاین IL8 با ۷۹/۰ میلی‌متر در روز، هیبرید دبل کراس ۳۷۰ با ۷۷/۰ میلی‌متر در روز، و هیبرید سینیگل کراس ۶۰۴ با ۸۰/۰ میلی‌متر بعد از ۱۶ روز کشت، از بیشترین سرعت رشد کالوس برخوردار بودند. به طور کلی، سرعت رشد کالوس در هشت روز پس از کشت کمترین میزان و در شانزده روز پس از کشت بیشترین مقدار را دارا بود (شکل ۲).

بعضی از پژوهشگران تفاوت مشاهده شده بین ژنتیپ‌ها را تحت تأثیر هورمون‌های مترشحه داخلی گیاه می‌دانند، که احتمالاً ظاهر یک یا تعدادی زن در کترل آن بی‌تأثیر نیست (۱۲ و ۲۱). روزاتی و همکاران (۲۰) نیز گزارش کردند که، کالوس زایی در فراوانی کمتر از حد مورد انتظار، ممکن است به دلیل وجود دمای بالا در طول رشد، و در نتیجه بر هم خوردن تعادل هورمونی در جنین‌ها باشد.

نتایج تجزیه واریانس وزن تر و خشک کالوس حاصل از



شکل ۲. مقایسه سرعت رشد کاللوس در زمان‌های مختلف (روز پس از کشت) در کاللوس‌های حاصل از جنین بالغ

محیط کشت MS، و هیبرید دبل کراس ۳۷۰ در محیط کشت N6 نشان داد (شکل ۳ و ۴). اثر متقابل ژنوتیپ در محیط کشت برای وزن خشک کاللوس نیز معنی دار شد (شکل ۴). مقایسه این اثر متقابل نشان داد که هیبرید SC9 در محیط کشت MS با مقدار ۱۲/۵۲ میلی‌گرم، و لاین اینبرد IL8، هیبرید سینگل کراس ۷۱۱ و دبل کراس ۳۷۰ در محیط کشت N6 به ترتیب با ۱۱/۱۷، ۱۱/۰۶ و ۱۱/۰۶ میلی‌گرم بیشترین وزن خشک کاللوس را داشتند (شکل ۴).

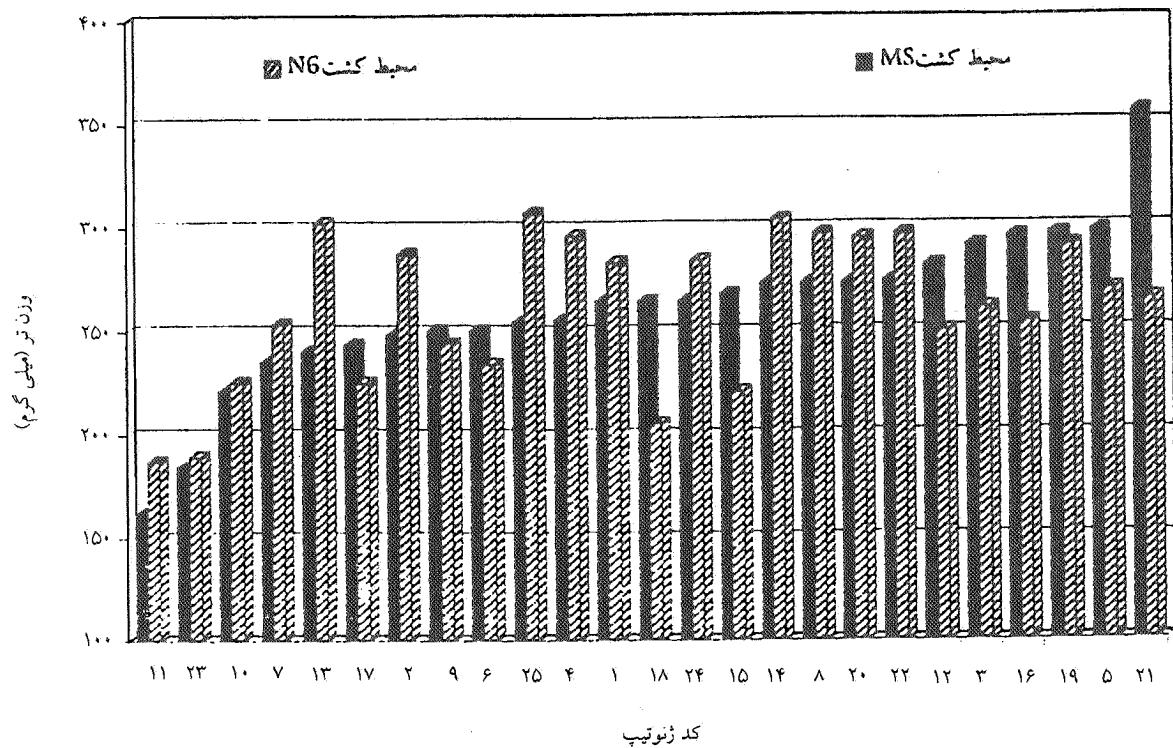
در بررسی انجام شده روی ۱۵ ژنوتیپ جو، برای تعیین اثر ژنوتیپ، محیط کشت و اثر متقابل این دو عامل گزارش شد که ژنوتیپ مهم‌ترین عامل در تعیین مورفولوژی و مقدار کاللوس است (۴). ماتیاس و سیمپسون (۱۷) نیز با مقایسه هشت ژنوتیپ گندم، تفاوت معنی داری در کاللوس‌زایی از جنین نارس مشاهده کردند. لو و همکاران (۱۵) یازده هیبرید ذرت ناقش کاللوس‌زایی از جنین نارس مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند از نظر میزان و نوع کاللوس (نوع یک یا دو) تشیکل شده از جنین، بین ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی داری وجود دارد. در گزارش دیگری، اثر معنی دار ژنوتیپ و محیط کشت بر درصد کاللوس‌زایی و جنین غیرجننسی در ذرت مشاهده گردید (۱۷).

مقایسه میانگین ژنوتیپ در ذرت مورد مطالعه از لحاظ

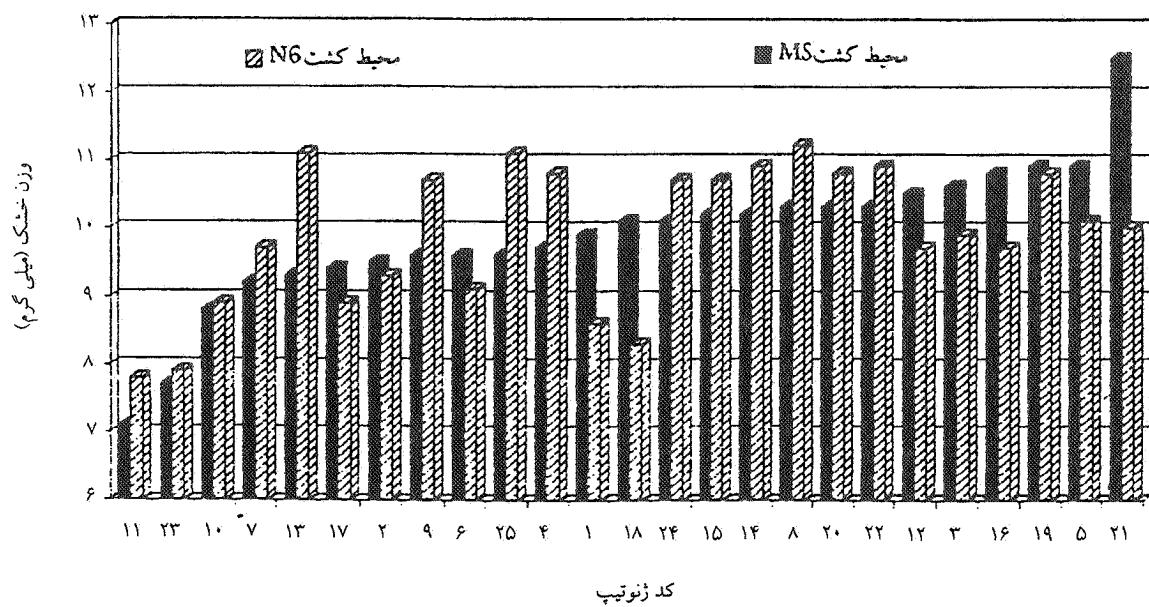
ژنتیکی مشاهده شده بین ژنوتیپ‌های ذرت مورد مطالعه می‌باشد، که با گزارش پژوهشگران دیگر (۱، ۱۴، ۱۸ و ۲۳) مطابقت دارد.

اثر متقابل ژنوتیپ و محیط کشت برای وزن تر کاللوس معنی دار بود (شکل ۳). با مقایسه میانگین‌های اثر متقابل ژنوتیپ و محیط کشت مشخص شد که هیبرید SC9 با میانگین ۳۵۶/۶ میلی‌گرم در محیط کشت MS و سینگل کراس ۷۱۱ با میانگین ۳۰۲/۴ میلی‌گرم در محیط کشت N6، بیشترین میزان وزن تر کاللوس را داشتند (شکل ۳). از طرف دیگر، لاین اینبرد IL11 با میانگین‌های ۱۶۲/۱ میلی‌گرم در محیط کشت MS و ۱۸۷/۴ میلی‌گرم در محیط کشت N6، کمترین مقدار وزن تر کاللوس را در دو محیط کشت به خود اختصاص داد (شکل ۳). راپلا (۱۹) گزارش کرد که اثر متقابل ژنوتیپ و محیط کشت در تعیین درصد و نوع کاللوس حاصل از جنین نارس ذرت نقش عمده‌ای دارد، به طوری که بعضی از ژنوتیپ‌ها در محیط کشت MS و بعضی دیگر در محیط کشت YP حداقل تولید کاللوس را دارند.

در مطالعه حاضر نیز مشخص شد که شرایط مطلوب رشد برای هر رقم، در یک محیط کشت خاص به دست می‌آید. به عنوان مثال، هیبرید SC9 بیشترین وزن تر و خشک کاللوس را در



شکل ۳. اثر متقابل ژنوتیپ و محیط کشت بر وزن تر کالوس حاصل از جنین بالغ، در لاین های اینبرد و هیبریدهای ذرت مورد مطالعه



شکل ۴. اثر متقابل ژنوتیپ و محیط کشت بر وزن خشک کالوس حاصل از جنین بالغ، در لاین های اینبرد و هیبریدهای ذرت مورد مطالعه

باززایی گیاهچه، نشان داد که لاین اینبرد IL1 با $7/4\%$ ، لاین اینبرد IL10 با $62/5\%$ گیاهچه باززایی شده، بالاترین رتبه را به خود اختصاص دادند (جدول ۲). لاین اینبرد IL5 و سینگل کراس ۷۰۴ و ۳۰۱ با اینبرد IL10 و هیبریدهای سینگل کراس

وابستگی به ژنتیک، در روش انتخاب در سطح سلولی، و ترانسفورماسیون ژنتیکی حائز اهمیت است، براساس نتایج این آزمایش، لاین اینبرد ۱IL و ۱۰IL، و هیبریدهای سینگل کراس ۳۰۱ و ۷۰۴ با عملکرد کالوس‌زاوی و بازیابی مناسب، برای طرح اصلاحی ذرت متکی به کشت کالوس قابل توصیه می‌باشد.

SC11 هر دو با ۱۷/۹٪ بازیابی از کالوس‌های منتقل شده به محیط کشت بازیابی، کمترین تولید گیاهچه را داشتند. در گندم نان (۱۷)، گندم دوروم (۲) و ذرت (۱، ۶، ۱۹ و ۲۰) تأثیر معنی‌دار و مهم ژنتیک در عملکرد کالوس‌زاوی و بازیابی حاصل از جنین تأکید شده است. با توجه به این که بازیابی در کشت کالوس به لحاظ

منابع مورد استفاده

1. Armstrong, C. L. and R. L. Phillips. 1988. Genetic and cytogenetic variation in plant regeneration from organogenic and friable embryogenic tissue culture of maize. *Crop Sci.* 28: 363-369.
2. Arzani, A. and S. S. Mirodjagh. 1999. Response of durum wheat cultivars to immature embryo culture, callus induction and *in vitro* salt stress. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 58: 67-72.
3. Brettschneider, R., D. Becker and H. Lorz. 1997. Efficient transformation of scutellar tissue of immature maize embryos. *Theor. Appl. Genet.* 94: 737-748.
4. Bregitzer, P. 1992. Plant regeneration and callus type in barley: Effect of genotype culture medium. *Crop Sci.* 32: 1108-1112.
5. Bronsema, F. B. F., P. Redig, W. J. F. Van Oostveen, H. A. Vanonckelen and A. M. Van Lammeren. 1996. Uptake and biochemical analysis of 2,4-D in cultured zygotic embryos of *Zea mays*. *L. J. Plant Physiol.* 149: 363-371.
6. Bronsema, F. B. F., W. J. F. Van Oostveen and A. M. Van Lammeren. 1997. Comparative analysis of callus formation and regeneration on cultured immature maize embryos of the inbred lines A188 and A632. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 50: 57-65.
7. Chu, C. C. 1978. The N6 medium and its applications to anther culture of cereal crops. pp. 45-50, *In: Proc. Plant Tissue Culture Symp. Science, Peking, China.*
8. D'Halluin, K., E. Bonne, M. Bossut, M. D. Beuckeleer and J. Leemans. 1992. Transgenic maize plant by tissue electroporation. *The Plant Cell* 4: 1495-1505.
9. Galiba, B., G. Kocsy, R. Kaur-Sawhney, J. Sutka and A. W. Galston. 1993. Chromosomal localization of osmotic and salt stress-induced differential alterations polyamine content in wheat. *Plant Sci.* 92: 203-211.
10. Green, C. E. and R. L. Phillips. 1975. Plant regeneration from tissue culture of maize. *Crop Sci.* 15: 419-421.
11. Emons, A. M. C. and H. D. Does. 1993. Origin and development of embryo and bud primordia during maturation of embryogenic calli of *Zea mays* L. *Can. J. Bot.* 71: 1349-1356.
12. Hess, J. R. and G. Carman. 1998. Embryogenic competence of immature wheat embryos: Genotype, donor plant, environment, and endogenous hormone levels. *Crop Sci.* 38: 249-253.
13. Ishida, Y., H. Saito, S. Onta, Y. Hiel, T. Komari and T. Kumashiro. 1996. High efficiency transformation of maize (*Zea mays* L.) mediated by *Agrobacterium tumefaciens*. *Nature Biotech.* 14: 745-750.
14. Kumar De, K. 1995. An Introduction to Plant Tissue Culture. New Central Book Agency LTD, India.

15. Lu, C., V. Vasil and I. K. Vasil. 1983. Improved efficiency of somatic embryogenesis and plant regeneration in tissue culture in maize (*Zea mays L.*). *Theor. Appl. Genet.* 66: 285-289.
16. Machii, H., H. Mizuno, T. Hirabayashi, H. Li and T. Hagio. 1988. Screening wheat genotype for high callus induction and regeneration capability from anther and immature embryo culture. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 53: 67-74.
17. Mathias, R. J. and E. S. Simpson. 1986. The interaction of genotype and culture medium on the tissue culture response of wheat (*Triticum aestivum L. em. Thell*) callus. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 7: 31-37.
18. Murashige, T. and F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. *Physiol. Plantarum* 15: 473-497.
19. Rapela, M. A. 1984. Indirect somatic (nonzygotic) embryogenesis in maize tissue culture. *Maize Genet. Coop. News.* 58: 110-112.
20. Rosati, C., P. Landi and R. Tuberosa. 1994. Recurrent selection for regeneration capacity from immature embryo-derived calli in maize. *Crop Sci.* 34: 343-347.
21. Santos, M. A., T. Camara, P. Rodriguez, I. Claparols and J. M. Torne. 1996. Influence of exogenous proline on embryogenic and organogenic maize callus subjected to salt stress. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 47: 59-65.
22. SAS Institute. 1993. SAS/STAT User's Guide. Version 6, 4th Ed., SAS Institute, Cary, NC, USA.
23. Taylor, R. J. and G. A. Secor. 1992. Average tissue diameter as a non-destructive determinant of potato protoplast-derived callus growth. *Envir. Exp. Bot.* 32: 43-48.
24. Vasil, V., C. Y. Lu and I. K. Vasil. 1983. Proliferation and plant regeneration from nodal region of *Zea mays L.* (maize, Gramineae) embryos. *Am. J. Bot.* 70: 951-954.
25. Vasil, V., I. K. Vasil and C. Y. Lu. 1984. Somatic embryogenesis in long-term callus culture of *Zea mays L.* (Gramineae). *Am. J. Bot.* 71: 158-161.