بررسی ارتباط بین فاصله ژنتیکی والدین با تظاهر هتروزیس در آفتابگردان تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبی

Relationship of Parental Genetic Distance with Heterosis Appearance in Sunflower under Well-Watered and Water-Stressed Status

حمید حاتمی ملکی[۱*]

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۵/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۲۱

چکیده

آفتابگردان از جمله محصولات مهم زراعی در دنیا می‌باشد که تولید بذر هیبرید آن دارای اهمیت اقتصادی فراوانی است. از مهم‌ترین مراحل تولید بذر هیبرید، آگاهی از هتروزیس و شناسایی ترکیبات والدینی برتر است که مرحله‌ای زمان‌بر و پرهزینه می‌باشد. در این مطالعه ارتباط بین فاصله ژنتیکی براساس نشانگر ریزماهواره با تظاهر هتروزیس در آفتابگردان بررسی گردید. تعداد پنج لاین آفتابگردان به‌صورت دی‌آلل ۵ × ۵ یک‌طرفه تلاقی داده شد و سپس والدین و نتاج آنها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به‌طور جداگانه در شرایط محیطی آبیاری و تنش کم‌آبی در گلخانه کشت گردیدند. عملکرد دانه و محتوی نسبی آب برگ در هر تکرار اندازه‌گیری گردید. فاصله ژنتیکی جاکارد بین لاین‌های والدی با استفاده از ۳۱ مکان ریزماهواره‌ای محاسبه گردید. فاصله ژنتیکی بین ۰/۵۸ تا ۰/۸۲ متغیر بود. براساس فواصل ژنتیکی محاسبه شده، ژنوتیپ‌های والدی مورد مطالعه در سه گروه قرار گرفتند. ارتباط فواصل ژنتیکی به‌دست آمده با ترکیب‌پذیری خصوصی و هتروزیس میانگین والدین برای صفات عملکرد دانه و محتوی آب نسبی برگ در هر یک از شرایط آبیاری، مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان داد که نشانگر ریزماهواره می‌تواند به‌طور مؤثری در تشخیص چندشکلی و فاصله ژنتیکی بین لاین‌های والدی مورد استفاده قرار گیرد. ارتباط فاصله ژنتیکی مبتنی بر نشانگر ریزماهواره با هتروزیس میانگین والدین و ترکیب‌پذیری خصوصی برای صفات مورد ارزیابی معنی‌دار نبوده و فاقد کارایی لازم در پیش‌بینی هتروزیس می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آفتابگردان، نشانگر ریزماهواره، هتروزیس، ترکیب‌پذیری خصوصی، عملکرد دانه، محتوی آب نسبی برگ

۱. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه

*: نویسنده مسوول Email: hatamimaleki@maragheh.ac.ir

مقدمه

آفتابگردان از جمله مهم‌ترین محصولات دانه روغنی است که در اکثر مناطق دنیا کشت می‌شود هو و همکاران (Hu *et al.*, 2010). بذر آفتابگردان حاوی ۴۸٪- ۳۵٪ روغن بوده و روغن آن حاوی مقادیر بالایی از اسیدهای چرب غیراشباع و نیز ویتامین‌هایی از قبیل K، E، B و A می‌باشد *قوسال* و همکاران (Gossal *et al.*, 1998). روغن خوراکی یکی از محصولات غذایی عمده کشور است که همواره تأمین نیاز داخلی آن با صرف هزینه‌های هنگفت و واردات از خارج انجام می‌شود، لذا سرمایه‌گذاری برای تولید دانه‌های روغنی و ازجمله آفتابگردان که در طرح خودکفایی دانه‌های روغنی بعد از کلزا اهمیت خاصی دارد مورد توجه است. کشاورزی پایدار بدون استفاده بهینه از منابع آب میسر نخواهد شد. کشور ایران دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک و اراضی مستعد کشاورزی زیادی است. حدود ۹۳/۵ درصد آب استحصالی از منابع سطحی و زیرزمینی کشور در بخش کشاورزی مصرف می‌شود و در عین حال کمبود آب عامل اصلی محدودکننده‌ی تولید است (نورجو و همکاران، ۱۳۸۵). توسعه ارقام آفتابگردان با عملکرد بالا در شرایط نرمال و تنش کم‌آبی می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مطلوب در راستای مقابله با تنش خشکی باشد. تحمل به خشکی خصوصیتی است که نمی‌توان آن را به‌راحتی کمی نمود و از طریق صفاتی مانند محتوی نسبی آب برگ، مقدار تجمع پرولین، فلورسانس کلروفیل، پایداری غشاء سلول و سایر خصوصیات دیگر ارزیابی می‌شود *زارعی* و همکاران (Zarei *et al.*, 2007). از میان صفات فوق-الذکر، محتوی نسبی آب برگ یکی از معیارهای مناسب جهت پی بردن به کمبود آب در گیاه و در یک زمان خاص می‌باشد. تنوع ژنتیکی برای صفت محتوی نسبی آب برگ در بین ارقام مختلف آفتابگردان توسط برخی از محققان مشاهده شده است *پورمحمدکیانی* و همکاران (Poormohammad Kiani *et al.*, 2007b). نتایج نشان داده است که کاهش در مقدار محتوی نسبی آب برگ منجر به کاهش در ظرفیت فتوسنتزی می‌شود *تزارا* و همکاران (Tezara *et al.*, 2002).

بگ و همکاران (Beg *et al.*, 1984) گزارش نمودند که ارقام هیبرید آفتابگردان در مقایسه با ارقام آزادگرده افشان علاوه‌بر یکنواختی دارای عملکرد دانه بالایی می‌باشند. با این وجود، وقت‌گیر و پرهزینه بودن یک مساله قابل تأمل در فرایند تولید ارقام هیبرید بوده و بایستی تعداد زیادی لاین‌های خویش آمیخته با یکدیگر تلاقی داده شده و سپس هیبریدهای حاصله مورد ارزیابی قرار گیرند *ملشینگر* و همکاران (Melchinger *et al.*, 1990). با توجه به اینکه تلاقی بین لاین‌ها و ژنوتیپ‌های با فاصله ژنتیکی زیاد احتمال تظاهر هتروزیس بالا در برنامه-های اصلاحی را تقویت می‌کند، می‌توان با ارزیابی تنوع ژنتیکی در ژرم پلاسم آفتابگردان ترکیبات والدینی مناسب را شناسایی نمود. ظهور نشانگرهای مولکولی DNA افق جدیدی در مراحل گزینش لاین‌های خویش آمیخته و تجزیه ترکیب‌پذیری فراهم ساخته است *لاریپ* و همکاران (Lariepe *et al.*, 2012). استفاده از نشانگرهای مولکولی DNA به‌منظور پیش‌بینی هتروزیس در برنج *ژیاو* و همکاران (Xiao *et al.*, 1995)، گندم *شارپ* و همکاران (Sharp *et al.*, 2002)، کلزا *وودی* و همکاران (Woody *et al.*, 2011) و آفتابگردان *درویش‌زاده* (Darvishzadeh, 2012) گزارش شده است. با این وجود نتایج متفاوتی در زمینه ارتباط فاصله ژنتیکی و هتروزیس گزارش گردیده است (Torabi *et al.*, 2005; Teklewold, and Becker, 2006; Gvozdenovic *et al.*, 2009). هدف از این مطالعه تعیین چندشکلی بین والدین از طریق نشانگرهای ریزماهواره و بررسی ارتباط بین فواصل ژنتیکی به‌دست آمده با ترکیب‌پذیری خصوصی و تظاهر هتروزیس برای صفات عملکرد دانه و محتوی آب نسبی برگ در آفتابگردان در دو شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبی بود.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

در این آزمایش، پنج لاین اینبرد پیشرفته (نسل F_9) حاصل از تلاقی RHA266 × PAC2 در یک طرح دی‌آلل یک‌طرفه ۵ × ۵ با یکدیگر تلاقی داده شدند. براساس مطالعات قبلی، لاین‌های اینبرد پیشرفته‌ی انتخاب شده دارای عکس‌العمل‌های متفاوتی نسبت به تنش کم‌آبی بوده و از نظر صفات زراعی و مورفولوژیکی با همدیگر متفاوت بودند (*پورمحمدکیانی* و همکاران، 2007a, 2007b, 2008, 2009). بذور ۱۵ ژنوتیپ شامل پنج والد و ۱۰ تلاقی مستقیم در هر یک از شرایط آبیاری نرمال و تنش کم آبیاری در گلخانه و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار کشت گردیدند. تیمار تنش کم‌آبی از زمانی که گیاهچه ها ۴۵ روزه بودند (مرحله R_1: تشکیل جوانه‌های گل) اعمال گردید (*پورمحمدکیانی* و همکاران، 2007a, 2007b). در تنش کم‌آبی، خاک گلدان گیاهان به‌ترتیب در ۶۰، ۵۰ و ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای و هر یک به‌مدت چهار روز نگهداری شد. برای این منظور گلدان‌ها هر روز وزن و مقدار آب از دست رفته تا حد تعیین شده ظرفیت مزرعه‌ای جبران می‌گردید. از این مرحله به بعد تا انتهای دوره رشد خاک گلدان‌ها در ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای

نگهداری شد (*پورمحمدکیانی* و همکاران، 2007a, 2007b, 2008, 2009). بعد از رسیدن گیاهان به مرحله بلوغ، عملکرد دانه برای هر کرت اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری محتوی نسبی آب برگ به‌ترتیب زیر عمل شد *ریتچی و نگویان* (Ritchie and Nguyen, 1990). پس از برداشتن نمونه برگی، نمونه‌ها بلافاصله درون یخ قرار گرفته و در آزمایشگاه وزن تر آنها با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد. سپس تمامی نمونه‌ها در آب مقطر به‌مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند. سپس وزن اشباع برگ‌ها اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد برگ‌ها مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و وزن خشک هر کدام اندازه‌گیری گردید. با استفاده از فرمول زیر، مقدار محتوی نسبی آب برگ محاسبه گردید:

$$RWC= F_w - D_w / S_w - D_w \times ۱۰۰$$

در این رابطه، F_w: وزن تر برگ بلافاصله بعد از نمونه‌برداری، D_w: وزن خشک برگ بعد از قرار گرفتن در آون، S_w: وزن اشباع برگ بعد از قرار گرفتن در آب مقطر.

استخراج DNA و انجام PCR

استخراج DNA از برگ گیاهان والدینی طبق روش *دلاپورتا* و همکاران (Dellaporta *et al.*, 1983) انجام شد. پس از تعیین کمیت و کیفیت DNA نمونه‌های استخراجی در طول موج‌های ۲۶۰ و ۲۸۰ نانومتر، نمونه‌های DNA با غلظت بیست و پنج نانوگرم تهیه گردید. تعداد ۳۱ جفت آغازگر ریزماهواره آگاهی بخش دارای پراکنش ژنومی مناسب و مرتبط با صفات فیزیولوژیک، مورفولوژیک، عملکرد و کیفیت دانه در شرایط آبیاری نرمال و تنش کم آبی *پورمحمد کیانی* و همکاران؛ *ابراهیمی* و همکاران (Ebrahimi *et al.*, 2008)، برای تکثیر DNAی ژنومی گیاهان فوق‌الذکر مورد استفاده قرار گرفتند (جدول ۱). واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز براساس روش *تانگ* و همکاران (Tang *et al.*, 2002) در حجم ۲۵ میکرولیتر شامل ۱۲/۵ میکرولیتر کیت PCR از شرکت سیناژن [۲۰۰ میلی‌مولار Tris-Hcl با pH= ۸/۵۵ ، ۱۶۰ میلی‌مولار $(NH_4)_2SO_4$ یک درصد، ۳ میلی‌مولار $MgCl_2$، ۰/۴ میلی‌مولار dNTPs و (یک واحد) Taq DNA polymerase ۱ U]، ۱ میکرومولار از هر آغازگر و ۵۰ نانوگرم از DNA الگو در دستگاه ترموسایکلر (PerkinElmer–Applied Biosystems®) انجام گرفت. الگوی دمایی مورد استفاده در واکنش PCR عبارت بود از: یک چرخه $95^{\circ}C$ به‌مدت ۲ دقیقه برای واسرشت‌سازی اولیه DNA، ۳۵ چرخه شامل: به‌ترتیب $94^{\circ}C$ به‌مدت ۴۵ ثانیه دمای واسرشت‌سازی، $50^{\circ}C$ تا ۵۵ دمای اتصال (بسته به هر آغازگر) به‌مدت ۶۰ ثانیه و $72^{\circ}C$ دمای گسترش به‌مدت ۴۵ ثانیه و بالاخره در انتها جهت تکمیل مرحله گسترش یک چرخه $72^{\circ}C$ به‌مدت ۱۰ دقیقه اعمال گردید.

تجزیه آماری داده‌ها

پس از انگشت‌نگاری والدین با آغازگرهای ریزماهواره‌ای، الگوی باندی نشانگرها، به‌صورت یک برای وجود نوار و صفر برای عدم وجود نوار امتیازدهی شد. ماتریس شباهت بین ژنوتیپ‌ها با استفاده از معیار تشابه جاکارد (Jaccard) محاسبه شد.

با استفاده از ماتریس تشابه، فاصله ژنتیکی جاکارد بین والدین محاسبه و سپس گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس الگوریتم Neighbor-Joining انجام گردید. تجزیه داده‌های مولکولی از طریق نرم‌افزار Darwin 5.0 انجام گردید. تجزیه داده‌های دی-آلل و محاسبه ترکیب‌پذیری خصوصی با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. هتروزیس نسبت به میانگین والدین با استفاده از Microsoft office Excel 2007 به‌وسیله رابطه زیر محاسبه شد:

$$H= F_1\text{-}MP/MP \quad \text{(Roy, 2000)}$$

در این رابطه، F_1 میانگین صفت موردنظر در نتاج و MP میانگین صفت موردنظر در والدین می‌باشد. ارتباط بین فواصل ژنتیکی محاسبه شده بین والدین با ترکیب‌پذیری خصوصی و هتروزیس میانگین والدین، به‌وسیله ضریب همبستگی ساده بین آنها و از طریق نرم‌افزار SAS 9.1 تعیین شد.

جدول ۱: مکان‌های ریزماهواره، موقعیت آنها در نقشه ژنتیکی آفتابگردان و ارتباط آنها با صفات مختلف

Table 1: Microsatellite loci, their location in genetic map of sunflower and their relationship with different traits

آغازگر Primer	گروه پیوستگی Linkage group	مکان ژنی کنترل‌کننده QTL	منبع Refrence
ORS121	15	--	Poormohammad Kiani *et al.*, 2007b and 2009
ORS123_1	14	وزن طبق و عملکرد تک بوته در مزرعه و در شرایط تنش کم‌آبی، روز از کاشت تا گل‌دهی در گلخانه و در شرایط تنش کم آبی، محتوی روغن در شرایط آبیاری نرمال و در گلخانه Head weight and yield per plant in field and under stress state, day from planting to flowering in greenhouse and stress state, oil content in greenhouse and normal state	Poormohammad Kiani *et al.*, 2009; Ebrahimi *et al.*, 2008
ORS123_2	12	سطح برگ در گلخانه و در شرایط آبیاری نرمال Leaf area in greenhouse and under normal state	//
ORS126_1	16	--	Poormohammad Kiani *et al.*, 2007b and 2009
ORS128	16	وزن طبق در شرایط تنش کم‌آبی و در گلخانه Head weight in greenhouse and under stress state	Poormohammad Kiani *et al.*, 2009
ORS169	17	--	Poormohammad Kiani *et al.*, 2007b and 2009
ORS31_1	16	تعداد برگ در شرایط آبیاری نرمال در مزرعه Leaf number in field and under normal state	Poormohammad Kiani *et al.*, 2009
ORS31_2	5	پتانسیل اسمزی در گلخانه و در شرایط تنش کم‌آبی Osmotic potential in greenhouse and under stress state	Poormohammad Kiani *et al.*, 2007b
ORS31_3	17	--	Poormohammad Kiani *et al.*, 2007b and 2009
ORS53	1	--	//
ORS8	15	--	//
ORS925	2	--	//
SSL102		--	//
SSL13		--	//
SSL20_1	14	تعداد برگ در شرایط مزرعه‌ای و آبیاری نرمال Leaf number in field and under normal state	Poormohammad Kiani *et al.*, 2009
SSL20_2	16	--	Poormohammad Kiani *et al.*, 2007b and 2009
SSL22_2	16	پتانسیل فشاری در گلخانه و در شرایط تنش کم‌آبی، روز از کاشت تا گل‌دهی در گلخانه و در شرایط آبیاری نرمال Pressure potential in greenhouse and under stress state, day from planting to flowering in greenhouse and normal state	Poormohammad Kiani *et al.*, 2007b
SSL27	11	--	Poormohammad Kiani *et al.*, 2007b and 2009
SSL29		--	//
SSL30	8	محتوی اسید پالمیتیک در شرایط تنش کم‌آبی و در مزرعه Palmitic acid content in field and under stress state	Ebrahimi *et al.*, 2008
SSL33	14	محتوی اسید پالمیتیک در شرایط تنش کم آبی و در گلخانه Palmitic acid content in greenhouse and under stress state	Ebrahimi *et al.*, 2008
SSL49		--	//
SSL66_2		--	//
SSU100	12	پتانسیل آب برگ در گلخانه و در شرایط آبی نرمال Leaf water potential in greenhouse and under normal state	Poormohammad Kiani *et al.*, 2007b
SSU123_1	14	عملکرد تک بوته در شرایط مزرعه‌ای و گلخانه‌ای همراه با تنش کم آبی و نیز عملکرد تک بوته در شرایط گلخانه‌ای همراه با آبیاری نرمال Yield per plant in field and greenhouse under stress state, Yield per plant in greenhouse and under normal state	Poormohammad Kiani *et al.*, 2009
SSU123_2	3	--	Poormohammad Kiani *et al.*, 2007b and 2009
SSU129	3	--	//
SSU195		--	//
SSU217	8	اسید لینولئیک در شرایط آبیاری نرمال و در گلخانه، محتوی روغن در گلخانه و در هردو شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبی Linoleic acid content in greenhouse and under normal state, oil content in greenhouse and in both normal and stress states	Ebrahimi *et al.*, 2008
SSU223	15	--	//
SSU227	14	عملکرد تک بوته در شرایط مزرعه ای و تنش کم‌آبی Yield per plant in field under stress state	Poormohammad Kiani *et al.*, 2009

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌ها براساس مدل آماری طرح بلوک‌های کامل تصادفی نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه (والدین و هیبریدهای F_1) از نظر صفات مورد بررسی (عملکرد دانه و محتوی آب نسبی برگ) در هر یک از شرایط آبی اختلاف معنی‌دار وجود دارد (داده‌های منتشر نشده).

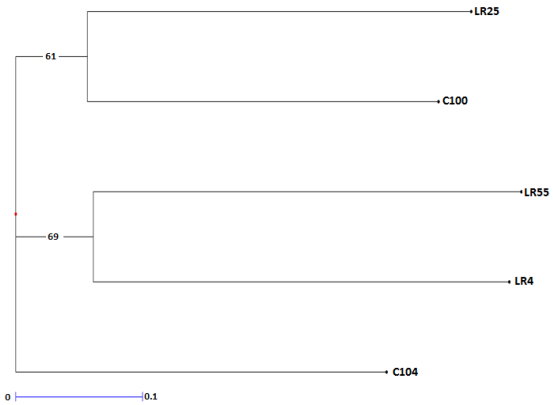
به‌منظور بررسی ارتباط بین فاصله ژنتیکی والدین با ترکیب-پذیری خصوصی و تظاهر هتروزیس برای صفات مورد بررسی (عملکرد دانه و محتوی آب نسبی برگ) در آفتابگردان، ابتدا ارزیابی تنوع ژنتیکی و تعیین فاصله ژنتیکی والدها با استفاده از ۳۱ جفت آغازگر ریزماهواره انجام شد. با استفاده از مکان‌های ریزماهواره‌ای، در مجموع ۶۲ آلل ریزماهواره‌ای شناسایی شد. بیشترین فاصله ژنتیکی براساس ضریب تشابه جاکارد (۰/۸۲) بین لاین‌های LR25 و LR55 و کمترین فاصله ژنتیکی (۰/۵۸) بین لاین‌های C100 و LR25 مشاهده شد (جدول ۲). با استفاده از ماتریس فاصله جاکارد و الگوریتم Neighbor-Joining، لاین‌های والدی در سه گروه قرار گرفتند (شکل ۱). لاین‌های LR25 و C100 با همدیگر در یک گروه و لاین‌های LR55 و LR4 با همدیگر در گروه دیگر قرار گرفتند. لاین C104 به تنهایی در گروه مجزا قرار گرفت. براساس مطالعات *پورمحمدکیانی* و همکاران (2007a, 2007b, 2008, 2009) لاین‌های LR25 و C100 دارای تنظیم اسمزی خوبی بوده و در شرایط تنش کم‌آبی، مقداری کاهش عملکرد نشان می‌دهند.

لاین‌های LR4 و LR55 به ترتیب دارای تنظیم اسمزی متوسط و ضعیفی بوده و دارای عملکرد متوسط و کم در شرایط تنش کم‌آبی می‌باشند. لاین C104 دارای تنظیم اسمزی خوبی بوده و در شرایط تنش کم‌آبی کاهش عملکرد ندارد. گروه‌بندی حاصل از نشانگرهای ریزماهواره نشان داد که این نشانگر می-تواند به‌خوبی در ارزیابی تنوع ژنتیکی و شناسایی گروه‌های مختلف در آفتابگردان مؤثر واقع گردد. در مطالعات مختلف *گوزدنویک* و همکاران؛ *درویش‌زاده* و همکاران؛ *خلقی* و همکاران (Gvozdenovic *et al.*, 2009; Darvishzadeh *et al.*, 2010; kholghi *et al.*, 2011) نیز از این نشانگر به‌طور وسیعی در ارزیابی تنوع ژنتیکی آفتابگردان (آجیلی و روغنی) استفاده شده است.

جدول ۲: فاصله ژنتیکی بین لاین‌های والدی مورد مطالعه با استفاده از ۶۲ آلل SSR و معیار فاصله جاکارد

Table 2: The genetic distance between parental lines studied using 62 SSR alleles and Jaccard distance measure

LR55	LR25	LR4	C104	C100	
0.69	0.58	0.71	0.65	0.00	C100
0.66	0.62	0.70	0.00		C104
0.66	0.73	0.00			LR4
0.82	0.00				LR25
0.00					LR55



شکل ۱: گروه‌بندی لاین‌های والدی مورد مطالعه با استفاده از معیار فاصله جاکارد و الگوریتم Neighbor-Joining

Fig. 1: Grouping of parent lines using distance measure and algorithms Neighbor-Joining

جدول ۳: ضرایب همبستگی بین فواصل ژنتیکی به‌دست آمده از طریق نشانگرهای SSR با ترکیب‌پذیری خصوصی و هتروزیس
Table 3: The correlation coefficients between genetic distances obtained by SSR markers with the combining ability and heterosis

محیط Environment		صفت Character	
		عملکرد دانه Yield	محتوی آب نسبی برگ Relative water content of leaves
آبیاری نرمال Normal irrigation	ترکیب‌پذیری خصوصی Combining ability	-0.09	0.42
	هتروزیس میانگین والدین Hetrosis of parental average	0.21	-0.33
		عملکرد دانه Yield	محتوی آب نسبی برگ Relative water content of leaves
تنش کم آبی Water stress	ترکیب‌پذیری خصوصی Combining ability	0.26	-0.13
	هتروزیس میانگین والدین Hetrosis of parental average	0.59	0.58

به‌منظور بررسی سودمندی نشانگر ریزماهواره در پیش‌بینی تظاهر هتروزیس در آفتابگردان، همبستگی ساده بین فاصله ژنتیکی مبتنی بر نشانگر مولکولی با ترکیب‌پذیری خصوصی و هتروزیس میانگین والدین برای صفات مورد مطالعه (عملکرد دانه و محتوی آب نسبی برگ) در ۱۰ هیبرید حاصل از طرح دی‌آلل ۵ × ۵ محاسبه گردید (جدول ۳). نتایج همبستگی ساده نشان داد که در هیچ یک از شرایط آبیاری، ارتباط معنی‌داری بین فواصل ژنتیکی براساس نشانگر SSR با تظاهر هیبرید و ترکیب‌پذیری خصوصی هیبریدها در سطوح احتمال معمول آماری وجود ندارد. به بیان دیگر ژنوتیپ‌های آفتابگردان دور یا نزدیک به هم از نظر نشانگر SSR، هتروزیس مشابهی نشان دادند. در مطالعه‌ای در آفتابگردان و با استفاده از ۱۵ نشانگر SSR *گوزدنویک* و همکاران (2009) نشان دادند که بین فواصل ژنتیکی و هتروزیس نسبت به میانگین والدین برای صفت عملکرد دانه، همبستگی غیرمعنی‌دار (r=۰/۲۱) وجود دارد که در توافق با یافته‌های این آزمایش بود.

در رابطه با پیش‌بینی هتروزیس از طریق فاصله ژنتیکی والدین و در گیاهان مختلف نتایج متفاوتی گزارش شده است. *ریف* و همکاران (Reif *et al.*, 2003) نشان دادند که ارتباط معنی‌دار بین هتروزیس و فواصل ژنتیکی بدست آمده از طریق نشانگرهای SSR در ذرت وجود دارد. در مطالعه که توسط نبی‌پور و همکاران (۱۳۹۱) به‌منظور شناسایی رابطه بین فاصله ژنتیکی براساس نشانگر AFLP و هتروزیس در گوجه‌فرنگی انجام گرفت عدم سودمندی نشانگر AFLP در پیش‌بینی هتروزیس نشان داده شد. همچنین، *ژانگ* و همکاران (Zhang *et al.*, 1996) با مطالعه چهار جمعیت مختلف برنج نتایج متفاوتی در رابطه با ارتباط بین فاصله ژنتیکی و تظاهر هتروزیس به‌دست آوردند و نشان دادند که همبستگی بین فاصله ژنتیکی والدین براساس نشانگر و هتروزیس به ژرم‌پلاسم مورد مطالعه بستگی دارد که این موضوع می‌تواند دلیلی بر پیچیدگی ژنتیکی هتروزیس باشد.

گزارشات قبلی بیان نموده‌اند که امکان تقویت قدرت همبستگی بین فاصله ژنتیکی مبتنی بر نشانگر و هتروزیس با انتخاب نشانگرهای آگاهی‌بخش وجود دارد *چارکوست* و همکاران؛ *برناردو* و همکاران؛ *گارسیا* و همکاران (Charcosset *et al.*, 1991; Bernardo, 1992; Garcia *et al.*, 2002). بدین منظور در این تحقیق سعی گردید از مجموعه‌ای از جایگاه‌های ریزماهواره‌ای استفاده گردد که علاوه‌بر داشتن پوشش ژنومی مناسب با برخی از صفات مرفوفیزیولوژیکی در آفتابگردان نیز در ارتباط باشند (جدول ۱). با این وجود، ارتباط معنی‌دار بین فواصل ژنتیکی والدین با ترکیب‌پذیری خصوصی و هتروزیس برای صفات مورد مطالعه مشاهده نگردید (جدول ۳). در تحقیق حاضر، اگرچه همبستگی‌ها معنی‌دار نگردیده‌اند (جدول ۳) ولی به نظر می‌رسد با افزایش حجم نمونه مورد مطالعه، برخی از همبستگی‌ها می‌توانند معنی‌دار شوند. در شرایط تنش کم‌آبی، همبستگی معنی‌داری در سطح احتمال ۱۰٪ برای هر دو صفت مورد مطالعه مشاهده گردید. نظیر چنین گزارشاتی توسط ترابی و همکاران (۱۳۸۴) در بررسی ارتباط بین فواصل ژنتیکی به‌دست آمده از طریق نشانگر RAPD با هتروزیس صفات مختلف در گیاه جو دیده شده است. از طرفی اثرات ژنی نیز می‌توانند در ایجاد عدم‌همبستگی مؤثر باشند، به‌طوری‌که هرچه ژن‌های کنترل‌کننده صفات دارای اثرات غالبیت بیشتری باشند امکان دستیابی به همبستگی معنی‌دار افزایش می‌یابد نبی‌پور و همکاران (۱۳۹۱). اثرات افزایشی و غیرافزایشی ژن‌های دخیل در کنترل صفات عملکرد دانه و محتوی آب نسبی برگ در آفتابگردان *اسکوریس* و همکاران؛ *راوف* و همکاران (Skoric *et al.*, 2000; Rauf *et al.*, 2003)، می‌تواند یکی دیگر از دلایل همبستگی‌های غیرمعنی‌دار باشد.

نتیجه‌گیری

همانند سایر گیاهان زراعی، نشانگر ریزماهواره می‌تواند به‌طور مؤثری در انگشت‌نگاری ژنوتیپ‌های آفتابگردان و شناسایی گروه‌های مختلف در آن استفاده گردد. ارتباط معنی‌دار بین فواصل ژنتیکی والدین بر اساس نشانگر SSR با ترکیب‌پذیری خصوصی و هتروزیس میانگین والدین برای صفات عملکرد دانه و محتوی آب نسبی برگ در آفتابگرردان مشاهده نشد. با توجه به اهمیتی که در مورد استفاده از فواصل ژنتیکی در پیشگویی هتروزیس در منابع مختلف آورده شده است (*برناردو*، 1992؛ *گارسیا* و همکاران، 2002؛ *ریف* و همکاران، 2003؛ *گوزدنویک* و همکاران،2009) پیشنهاد می‌گردد مطالعات بیشتر با تعداد نمونه بیشتر و نیز تلفیقی از نشانگرهای هم بارز و غالب نیز در آفتابگردان انجام بگیرد تا نتایج دقیق‌تری ارائه گردد.

منابع:

جهت مطالعه منابع به صفحه ۴-۳ متن انگلیسی مراجعه شود.