

ارزیابی ترکیب پذیری عمومی و مقایسه کلون‌های منتخب نسل‌های خودبارور و آزاد گرده‌افشان
اکوتیپ‌های یونجه (*Medicago sativa* L.)
Assessment of combining ability and comparison of selected selfed and open
pollinated generations clones of alfalfa (*Medicago sativa* L.) ecotypes

ویدا قطبی^۱ و علی مقدم^۲

چکیده

قطبی، و. و ع. مقدم. ۱۳۹۹. ارزیابی ترکیب‌پذیری عمومی و مقایسه کلون‌های منتخب نسل‌های خودبارور و آزاد گرده‌افشان اکوتیپ‌های یونجه (*Medicago sativa* L.).
نشریه علوم زراعی ایران. ۲۲ (۴): ۳۶۵-۳۷۵.

این تحقیق به منظور ارزیابی کمی نسل‌های خودبارور (S1، S2 و S3) و آزاد گرده‌افشان یونجه (OP1، OP2، OP3) از نظر میزان پس‌روی خویش‌آمیزی و ترکیب‌پذیری عمومی در خانواده‌های نسل‌های دو خودبارور شده (S2) اکوتیپ‌های یونجه انجام شد. خود باروری گیاهان انتخابی به منظور تولید نسل‌های خودبارور S1، S2 و S3 در شرایط مزرعه انجام شد و از کلون‌های هر نسل خودبارور شده برای تولید نسل‌های آزاد گرده‌افشان در شرایط مزرعه استفاده شد. برای مقایسه عملکرد علوفه خشک و ارتفاع بوته نسل‌های خود بارور شده (S1، S2، S3) و نتاج نسل‌های آزاد گرده‌افشان (OP1، OP2، OP3)، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو فصل رشد (۱۳۹۳-۱۳۹۴) در مزرعه موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج، ایران اجرا شد. نتایج نشان داد که اختلاف بین اکوتیپ‌ها، نسل‌ها و سال‌های آزمایش و برهمکنش دو جانبه و سه جانبه بین آن‌ها برای صفات عملکرد علوفه خشک و ارتفاع بوته معنی‌دار بود. اکوتیپ‌های یونجه در برابر خود گشنی عکس‌العمل‌های متفاوتی داشتند و بیشترین میزان پس‌روی بینه (ویگور) در نسل S1 مشاهده شد، ولی با ادامه خودگشنی بازگشت بینه در کلیه اکوتیپ‌ها مشاهده شد و در نسل S3 بینه گیاه در مقایسه با نسل OP1 به‌طور چشمگیری افزایش یافت. بازگشت بینه در تلاقی‌های OP2 بیشتر از OP3 بود. اکوتیپ‌های یزدی و نیک‌شهری که از اکوتیپ‌های مناطق گرمسیری هستند، بالاترین ترکیب‌پذیری عمومی برای عملکرد علوفه خشک را داشتند، بر این اساس به نظر می‌رسد که تلاقی این اکوتیپ‌ها با اکوتیپ‌هایی از مناطقی با تفاوت اقلیمی، در بهبود عملکرد ارقام سینتتیک یا هیبریدهای یونجه از قبیل هیبریدهای آزاد و یا شبه‌هیبریدها، مؤثرتر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: بینه گیاه، پس‌روی خویش‌آمیزی، خودباروری، عملکرد علوفه و یونجه.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۹ این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی شماره ۰۲-۰۳-۰۳-۹۰۱۲۰ مصوب موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر می‌باشد.

۱- استادیار بخش تحقیقات ذرت و گیاهان علوفه‌ای موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران (مکاتبه کننده)
(پست الکترونیک: v.ghotbi@areoo.ac.ir vghotbi@spii.ir)

۲- استادیار بخش تحقیقات ذرت و گیاهان علوفه‌ای موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

مقدمه

یونجه (*Medicago sativa* L.) به دلیل ارزش غذایی بالا، تولید میزان بالای پروتئین در واحد سطح، تثبیت نیتروژن و حفظ ساختار خاک، از مهم‌ترین گیاهان علوفه‌ای جهان است و اهمیت بسیار زیادی در تغذیه دام و کشاورزی پایدار دارد (Hill *et al.*, 1988; Michaud *et al.*, 1988). مبدا یونجه ناحیه قفقاز، شمال غرب ایران، شمال شرق ترکیه و ترکمنستان است (Michaud *et al.*, 1988). اکوتیپ‌های یونجه در مناطق مختلف آب و هوایی ایران وجود دارند که دارای خصوصیات زراعی و فیزیولوژیکی متفاوتی بوده و امکان استفاده از آن‌ها در برنامه‌های مختلف به‌نژادی وجود دارد. اهداف اصلی در برنامه‌های به‌نژادی یونجه افزایش عملکرد، پایداری و کیفیت علوفه است (Veronesi *et al.*, 2006). بهبود عملکرد یونجه به دلیل موانعی چون وراثت تراسومی، دگرگرده افشانی و وابستگی به حشرات، دو جنسی بودن گل‌ها و خصوصیات ژنتیکی، پیشرفت کندی داشته است (Brummer, 1999; Scotti and Brummer, 2010) و در مقایسه با سایر گیاهان زراعی، تحقیقات کمتری در باره به‌نژادی ارقام یونجه انجام شده است (Rotili *et al.*, 1999; Milić *et al.*, 2014). با کشف هتروزیس و استفاده از آن در برنامه‌های به‌نژادی، افزایش عملکرد سرعت بیشتری یافت. یکی از موانع استفاده از هتروزیس در یونجه اتوتراپلوئید، ساختار پیچیده ژنتیکی این گیاه است (Sriwatanapongse and Wilsie, 1968; Tysdal and Kiesselbach, 1942). نتایج تحقیقات نشان داده است که امکان استفاده از اثرات ژنتیکی افزایشی و غیرافزایشی در برگیرنده برهمکنش ژن‌های مکمل مرتبط با توارث پلی‌زومی در یونجه وجود دارد (Riday and Brummer, 2002; Bhandari *et al.*, 2007; Al Lawati *et al.*, 2010; Milić *et al.*, 2010) (برتری نتاج نسبت به والدین) تا حدی مسئول افزایش

عملکرد در بسیاری از گیاهان زراعی است. اگرچه تنوع ژنتیکی به‌خودی خود برای بیان هتروزیس مورد نیاز است، اما به‌تنهایی کافی نیست و لازم است جمعیت‌های منتخب، قابلیت ترکیب خوبی نیز داشته باشند (Scotti and Brummer, 2010).

برآورد ارزش ژنتیکی گیاهان پایه از لاین‌های خودبارور شده کار ساده‌ای نیست (Panella and Lorenzetti, 1966). اثرات منفی خودباروری در یونجه در تحقیقات متعددی ثابت شده است. خودباروری در یونجه باعث کاهش سریع بنیه گیاه (ویگور) و کاهش تولید بذر می‌شود. در بسیاری از موارد، از دست رفتن باروری بسیار شدید بوده و رسیدن به نسل سوم خودباروری به سختی امکان‌پذیر می‌شود. به‌علاوه بازگشت بنیه گیاه در گرده‌افشانی آزاد در تمام موارد یکسان نیست. خودگرده افشانی در نسل‌های پیشرفته اتوتراپلوئیدها باعث تولید اینبردهایی می‌شود که در مقایسه با نسل‌های آزادگرده افشان، به دارا بودن نسبت بالاتری از گامت‌های هموزیگوت متحمل تر هستند (Panella and Lorenzetti, 1966)، بنابراین وقتی برای نسل‌های اینبرد پیشرفته، امکان گرده افشانی آزاد وجود داشته باشد، فقط تا حدودی بازگشت بنیه گیاهی امکان‌پذیر خواهد شد. از دست رفتن بنیه گیاه به‌دلیل خویش‌آمیزی (اینبریدینگ) در ارقام با زمینه ژنتیکی مختلف، متفاوت است. در شرایط طبیعی مقداری خویش‌آمیزی در کلیه جمعیت‌ها اتفاق می‌افتد، اما در ارقام با زمینه ژنتیکی محدود، خویش‌آمیزی با فراوانی بیشتری اتفاق می‌افتد. با توجه به اینکه درجه خاصی از تحمل به خویش‌آمیزی وجود دارد که باعث حفظ شایستگی رقم می‌شود، از دست رفتن بنیه گیاه در چنین شرایطی ممکن است مشهود نباشد (Rotili *et al.*, 1999).

سیستم باروری نقش مهمی در تکامل کلون‌های والدی دارد و کارایی نتاج معمولاً وابسته به یکدیگر و همچنین وابسته به کارایی کلون‌های مادری است. مک

همچنین برآورد ترکیب‌پذیری عمومی بین خانواده‌های نسل‌های دوم خودبارور شده (S_2) اکوتیپ‌های یونجه از مناطق مختلف آب و هوایی ایران و دو رقم خارجی (در مجموع ۱۰ رقم و اکوتیپ) (جدول ۱) انجام شد. خودباروری نسل‌های مختلف، گرده‌افشانی آزاد و ارزیابی نسل‌ها برای تجزیه و تحلیل ژنتیکی صفات مورد نظر طی دو سال (۱۳۹۳ و ۱۳۹۴) در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در کرج واقع در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۸۳ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و یک دقیقه طول شرقی انجام و صفات عملکرد ماده خشک و ارتفاع بوته اندازه‌گیری شدند. اکوتیپ‌های یونجه انتخاب شده برای خودباروری از اکوتیپ‌های با خصوصیات مطلوب زراعی و عملکرد بودند و از مناطق سرد و معتدله تا گرم و معتدله با تفاوت‌هایی از نظر الگوی خواب پاییزه، سرعت رشد مجدد و نسبت برگ به ساقه انتخاب شدند. پس از کشت جمعیت اولیه در مزرعه در سال ۱۳۸۹ و استقرار گیاهان در بهار، قبل از خودباروری گیاهان، از هر اکوتیپ و رقم، عملکرد علوفه تر چین اول برای انتخاب بوته‌های برتر ثبت شد. چین‌برداری در مرحله ۱۰ درصد گل‌دهی انجام و عملکرد علوفه تر و خشک تک بوته و طول ساقه اصلی، برای انتخاب گیاهان برتر اندازه‌گیری شدند. خودگشنی به‌صورت دستی و در زیر حفاظ توری روی بوته‌های انتخابی در فصل بهار و تابستان انجام شد. برای بررسی گیاهان نسل اول خودباروری (S_1)، گیاهان S_1 در سال ۱۳۹۰ کشت شدند و بعد از استقرار بوته‌ها، در بهار صفات عملکرد علوفه تر و خشک تک بوته و طول ساقه اصلی اندازه‌گیری شده و بوته‌های برتر از بین آن‌ها انتخاب شد. خودباروری گیاهان S_1 انتخابی مانند سال قبل اجرا و ارزیابی گیاهان نسل دوم خودباروری (S_2) در سال ۱۳۹۱ انجام شد و با همین رویه تولید نتایج نسل S_3 صورت گرفته و لاین‌های اینبرد نسبی برتر انتخاب شدند. فامیل‌های برتر نسل‌های خودبارور شده

الیستر (McAllister, 1951) در یک تحقیق رابطه مثبتی بین عملکرد کلون‌های والدی یونجه و عملکرد نتایج S_1 و F_1 آن‌ها گزارش کرد. اختلافات معنی‌دار بین نتایج پلی‌کراس با بالاترین و کمترین میزان عملکرد در چند آزمایش مشاهده شده و گزارش شده است که استفاده از نتایج S_1 برای تشخیص کلون‌های برتر حاصل از نتایج پلی‌کراس رضایت بخش بود (Davis, 1955; Scotti and Brummer, 2010). در تحقیق دیگری نیز گزارش شد که کلون‌های تشکیل شده از نتایج برتر S_1 ، از نظر کلیه صفات گیاهی اندازه‌گیری شده برتر بودند، در حالی که نتایج پلی‌کراس برای ارزیابی ترکیب‌پذیری عمومی کلون‌ها محدودیت داشتند (Davis and Panton, 1962). داوونی (Downey, 1962) طی نتیجه متفاوتی گزارش کرد که نتایج با گرده‌افشانی آزاد از نتایج S_1 برای ارزیابی کلون‌های والدی بهتر هستند. همبستگی بالایی بین نمود نتایج خودبارور شده و کلون‌های مادری برای بسیاری از صفات اقتصادی مانند عملکرد، عادات رشد پاییزه، بازگشت پاییزه و بنیه بهاره توسط ویلکوکس (Wilcox, 1962) گزارش شده است. منیری‌فر (Monirifar, 2010) با استفاده از آزمون پلی‌کراس و ارزیابی ترکیب‌پذیری عمومی اکوتیپ‌های یونجه منطقه آذربایجان، والدین مناسبی را برای تولید واریته سنتتیک شناسایی و گزارش کرد.

هدف از این تحقیق ارزیابی اثر خودباروری و درون‌زادآوری اکوتیپ‌ها و ارقام یونجه، بررسی بازگشت بنیه گیاه در نسل‌های با گرده‌افشانی آزاد و همچنین برآورد ترکیب‌پذیری عمومی اکوتیپ‌ها برای استفاده از هتروزیس در تلاقی‌های آینده بوده است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به منظور تجزیه و تحلیل، مقایسه نسل‌های خودبارور شده، مقدار پس‌روی خویش‌آمیزی، برگشت بنیه گیاه در نسل‌های با گرده‌افشانی آزاد و

در مزارع ایزوله در سال ۱۳۹۱-۱۳۹۳ در مزرعه ایران و رقم خارجی، منشأ گرفته از خودباروری، برای تولید نتاج با گرده افشانی آزاد (OP₁، OP₂ و OP₃)

جدول ۱- نام و منشأ اکوتیپ‌های یونجه مورد ارزیابی

Table 1. Name and origin of alfalfa ecotypes

| اکوتیپ‌های یونجه Alfalfa ecotypes | خواب پاییزه Autumn dormancy | منشأ Origin |
|--------------------------------------|---|------------------------|
| Bami | بدون خواب Non dormant | بومی - گرمسیری L-W |
| Ghahavand | دارای خواب Dormant | بومی - سردسیری L-C |
| Kozare | دارای خواب Dormant | بومی - سردسیری L-C |
| Legend | دارای خواب Dormant | خارجی - سردسیری E-C |
| Mohajeran | دارای خواب Dormant | بومی - سردسیری L-C |
| Nik Shahri | بدون خواب Non dormant | بومی - گرمسیری L-W |
| Rahnani | دارای خواب Dormant | بومی - معتدل L-T |
| Sequel | بدون خواب (نیمه خواب) Non dormant (Semi dormant) | خارجی - معتدل E-T |
| Silvana | دارای خواب Dormant | بومی - سردسیری L-C |
| Yazdi | بدون خواب Non dormant | بومی - گرمسیری L-W |

*L: Landrace; E: Exotic; C: Cold region; T: Temperate; W: Warm region

سال) در هر تکرار به‌عنوان عملکرد کل ماده خشک در نظر گرفته شد. ارتفاع بوته‌ها نیز همزمان با برداشت در هر چین اندازه‌گیری شد. برای این کار ارتفاع پنج بوته دو ردیف وسط هر کرت آزمایشی از سطح زمین تا نوک گل آذین با استفاده از خط کش اندازه‌گیری شده و میانگین آن‌ها به‌عنوان ارتفاع بوته‌ها در هر کرت در هر تکرار ثبت شد. ترکیب‌پذیری عمومی از اختلاف بین میانگین هر اکوتیپ با میانگین کل آن جمعیت محاسبه شد.

به‌منظور ارزیابی معنی‌دار بودن تفاوت بین اکوتیپ‌ها، نسل و دو سال آزمایش و برهمکنش آن‌ها از نظر دو صفت مورد نظر، تجزیه واریانس مرکب برای دو سال بر اساس طرح فاکتوریل انجام شد. قبل از انجام هر تجزیه، فرضیات تجزیه واریانس در خصوص داده‌های آزمایش و لزوم تبدیل داده‌ها نیز بررسی شد. در ابتدا نرمال بودن خطاهای آزمایشی داده‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و سپس همگنی واریانس درون تیمارها با استفاده از نرم افزار

برای مقایسه نسل‌های خودبارور شده و گرده‌افشانی آزاد، آزمایشی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار به‌صورت مزرعه‌ای اجرا شد. فاصله بین بلوک‌ها یک متر در نظر گرفته شد و هر کرت شامل چهار ردیف کاشت دو متری با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر بود. فاصله بوته‌ها روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در اوایل مهر ۱۳۹۲، بعد از رشد کافی بوته‌های نسل‌های خودبارور شده و گیاهان گرده‌افشانی آزاد شده در گلدان‌های قابل احیا در گلخانه، به مزرعه انتقال داده شده و در ردیف‌های مورد نظر کشت شدند. عملکرد ماده خشک و ارتفاع بوته در بهار و تابستان ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ اندازه‌گیری شدند. هر برداشت (چین) در مرحله ۱۰ تا ۲۰ درصد گلدهی از دو خط وسط هر کرت آزمایشی پس از حذف ردیف‌های حاشیه انجام شده و عملکرد علوفه‌تر محاسبه شد. برای اندازه‌گیری میزان ماده خشک و عملکرد ماده خشک، نمونه‌های تر از بوته‌های هر کرت برداشت و در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشکانده شدند. مجموع میانگین عملکرد در هر چین (چهار چین در هر

(جدول ۲). در سال ۱۳۹۳ نیز اکوتیپ‌های قهواند، نیک‌شهری و مهاجران (به ترتیب ۱۸/۲۶، ۱۸/۳۲، ۱۸/۲۵ تن در هکتار) بیشترین عملکرد علوفه خشک را در نسل OP₁ داشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین نسل‌ها در دو سال نشان داد که در مجموع، نسل OP₁ بیشترین و نسل S₂ کمترین عملکرد علوفه خشک را داشتند. نسل OP₁ به عنوان نسل صفر خودباروری S₀ در نظر گرفته شد. پس‌روی خویش‌آمیزی نسل‌ها در مقایسه با OP₁ به صورت درصد کاهش در عملکرد علوفه خشک برآورد شد. به نظر می‌رسد که علت بیشتر بودن عملکرد علوفه خشک در سال ۱۳۹۴ در مقایسه با ۱۳۹۳، استقرار بهتر بوته‌ها در سال ۱۳۹۴ بود. بیشترین میزان پس‌روی در نسل دوم خودباروری مشاهده شد (جدول ۳)، بطوریکه عملکرد علوفه خشک نسل S₂ نسبت به نسل OP₁ (S₀) به ترتیب در دو سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴، کمترین میزان را داشتند (۴۴/۷ و ۵۴/۵ درصد). عملکرد علوفه خشک در نسل S₃ نیز از نسل S₂ برتر بود (جدول ۲). عملکرد علوفه خشک نسل S₃ در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ به ترتیب ۹/۲۰ و ۱۶/۶۷ تن در هکتار و در نسل S₂ به ترتیب ۷/۵۲ و ۱۱/۷۱ تن در هکتار بود. علت این موضوع می‌تواند این باشد که در نسل S₂ بسیاری از گیاهانی که ضعیف بودند و خودبارور شدند، بذری تولید نکردند و فقط گیاهان قوی‌تر S₂ بذر کافی برای نسل سوم تولید کردند. این نتایج با یافته‌های پانلا و لورنزی (Panella and Lorenzetti, 1966) نیز مطابقت داشت. از طرف دیگر، نسل OP₂ که انتظار می‌رفت عملکرد بالایی داشته باشد، کاهش معنی‌داری در عملکرد علوفه خشک، نسبت به نسل OP₁ نشان داد (جدول ۳). این نتایج نشان می‌دهد که بازگشت بنیه در لاین‌های خودبارور شده یونجه با یک نسل دگرگرده افشانی امکان‌پذیر نیست. دمارلی (Demarly, 1963) گزارش داد که تمرکز روی گامت‌های هموزیگوس در نسل S₁ می‌تواند دلیل کاهش بنیه گیاهان S₂ و OP₂ باشد، در

SAS Ver. 9.2 بررسی و تأیید شد. تجزیه واریانس با استفاده از برنامه SAS انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار فیشر (FLSD: Fisher's difference significant least) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه مرکب نسل‌های خودباروری و آزاد‌گرده‌افشان در دو سال برای صفات عملکرد علوفه خشک و ارتفاع بوته نشان داد که بین اکوتیپ‌ها، نسل‌ها و سال‌ها برای هر دو صفت در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری وجود داشت. برهمکنش‌های دوگانه اکوتیپ در نسل، اکوتیپ در سال و نسل در سال برای صفت عملکرد علوفه خشک تفاوت بسیار معنی‌داری را نشان دادند. برهمکنش نسل در سال برای ارتفاع بوته تفاوت بسیار معنی‌داری را نشان داد. برهمکنش سه‌گانه اکوتیپ در نسل در سال نیز فقط برای عملکرد علوفه خشک تفاوت معنی‌داری را نشان داد و برای صفت ارتفاع بوته تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. با توجه به اینکه عملکرد علوفه خشک با صفات ارتفاع بوته و تعداد ساقه در بوته همبستگی دارد، صفات دیگری از جمله تعداد ساقه در بوته می‌تواند باعث تفاوت معنی‌دار در برهمکنش بین اکوتیپ‌ها، نسل‌ها و سال‌ها برای صفت عملکرد علوفه خشک شود. با توجه به معنی‌دار شدن برهمکنش اکوتیپ در نسل در سال برای عملکرد علوفه خشک، مقایسه میانگین این صفت برای هر اکوتیپ و نسل و سال انجام شد (جدول ۲). بر اساس میانگین کل ژنوتیپ‌ها، نسل‌های آزاد‌گرده‌افشان عملکرد بالاتری نسبت به نسل‌های خودبارور شده داشتند. در بین اکوتیپ‌ها، نسل‌ها و سال‌های آزمایش، اکوتیپ‌های نیک‌شهری (۲۲/۸۹ تن در هکتار)، قهواند (۲۲/۶۵ تن در هکتار) و یزدی (۲۲/۶۵ تن در هکتار) در نسل OP₁ سال ۱۳۹۴ بیشترین عملکرد علوفه خشک را داشتند

جدول ۲- میانگین عملکرد علوفه خشک (تن در هکتار) نسل‌های آزاد گرده‌افشان و خودبارور اکوتیپ‌های یونجه

Table 2. Mean of dry forage yield (t.ha⁻¹) of open-pollinated (OP) and selfed (S) generations of alfalfa ecotypes

| اکوتیپ‌های یونجه Alfalfa ecotypes | سال Year | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| | ۱۳۹۳ 2014 | | | | | | ۱۳۹۴ 2015 | | | | | |
| | OP ₁ | OP ₂ | OP ₃ | S ₁ | S ₂ | S ₃ | OP ₁ | OP ₂ | OP ₃ | S ₁ | S ₂ | S ₃ |
| Bami بمی | 16.02 | 13.78 | 8.87 | 10.51 | 7.15 | 8.83 | 21.88 | 15.33 | 16.57 | 15.84 | 12.80 | 17.76 |
| Ghahavand قهاوند | 18.32 | 14.69 | 10.00 | 9.76 | 6.40 | 8.08 | 22.65 | 18.61 | 18.24 | 15.80 | 12.76 | 17.72 |
| Kozare کوزره | 17.54 | 13.22 | 7.99 | 10.48 | 7.12 | 8.80 | 20.33 | 16.96 | 16.40 | 15.35 | 12.31 | 17.27 |
| Legend لجند | 16.79 | 13.28 | 9.21 | 14.03 | 10.67 | 12.35 | 22.01 | 17.38 | 16.63 | 15.04 | 12.00 | 16.96 |
| Mohajeran مهاجران | 18.25 | 13.85 | 9.31 | 9.82 | 6.46 | 8.14 | 21.20 | 18.72 | 18.03 | 12.98 | 9.94 | 14.90 |
| Nik Shahri نیک‌شهری | 18.26 | 16.47 | 11.14 | 9.77 | 6.41 | 8.09 | 22.89 | 19.91 | 18.60 | 15.49 | 12.45 | 17.41 |
| Rahnani رهنانی | 15.63 | 15.53 | 8.51 | 10.32 | 6.96 | 8.64 | 19.04 | 19.10 | 17.51 | 15.60 | 12.56 | 17.52 |
| Sequel سکوئل | 14.99 | 11.79 | 8.77 | 8.79 | 5.43 | 7.11 | 19.95 | 17.82 | 16.32 | 10.82 | 7.78 | 12.74 |
| Silvana سیلوانا | 16.18 | 15.05 | 10.99 | 10.99 | 7.63 | 9.31 | 22.21 | 18.96 | 17.80 | 15.44 | 12.40 | 17.36 |
| Yazdi یزدی | 16.20 | 16.08 | 14.37 | 14.37 | 11.01 | 12.69 | 22.65 | 21.04 | 19.90 | 15.11 | 12.08 | 17.04 |
| Mean میانگین | 16.82 | 14.37 | 9.92 | 10.88 | 7.52 | 9.20 | 21.48 | 18.30 | 17.60 | 14.75 | 11.71 | 16.67 |
| LSD (0.05) | 1.87 | | | | | | | | | | | |
| LSD (0.01) | 2.46 | | | | | | | | | | | |

LSD values based on significant interaction of generation × year × ecotype

مقادیر LSD بر اساس برهمکنش معنی‌دار نسل در سال در اکوتیپ

در سال و میانگین اکوتیپ‌ها برای این صفت در ادامه ارائه می‌شود. همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود بیشترین ارتفاع بوته در هر دو سال در نسل OP₁ و کمترین ارتفاع بوته نیز در نسل S₂ خودباوری مشاهده شد. با توجه به همبستگی عملکرد علوفه با ارتفاع بوته، همین روند نیز برای ارتفاع بوته مشاهده شد.

حالی که انتخاب اجتناب‌ناپذیر برای باروری و بنیه در نسل S₂ منجر به انتخاب گیاهانی با پتانسیل تولید گامت‌های با نسبت هتروزیگوسیتی بیشتر می‌شود که علت برتری بنیه S₃ و OP₃ است. با توجه به معنی‌دار بودن صفت ارتفاع بوته در برهمکنش نسل در سال و غیر معنی‌دار بودن سایر برهمکنش‌ها، میانگین نتایج برهمکنش نسل

جدول ۳- عملکرد علوفه خشک نسل‌های آزاد گرده‌افشان و خود گرده‌افشان یونجه در مقایسه با OP₁ (درصد)

Table 3. Dry forage yield of open and self pollinated generations of alfalfa compared to OP₁ (%)

| نسل‌های یونجه Alfalfa generations | سال ۱۳۹۳ 2014 | سال ۱۳۹۴ 2015 |
|--------------------------------------|------------------|------------------|
| S ₁ | 64.71 | 68.65 |
| S ₂ | 44.73 | 54.50 |
| S ₃ | 54.72 | 77.58 |
| OP ₁ (S ₀) | 100 | 100 |
| OP ₂ | 85.20 | 85.20 |
| OP ₃ | 58.96 | 81.93 |

جدول ۴- میانگین ارتفاع بوته (سانتی‌متر) نسل‌های آزاد گرده‌افشان و خود گرده‌افشان یونجه

Table 4. Mean of plant height (cm) of open and self-pollinated generations of alfalfa

| نسل‌های یونجه Alfalfa generations | ۱۳۹۳ 2014 | ۱۳۹۴ 2015 |
|--------------------------------------|--------------|--------------|
| OP ₁ | 96.2 | 97.2 |
| OP ₂ | 85.1 | 78.6 |
| OP ₃ | 85.4 | 83.0 |
| S ₁ | 78.1 | 75.9 |
| S ₂ | 72.1 | 73.0 |
| S ₃ | 79.3 | 68.2 |
| LSD (0.05) | 3.75 | |
| LSD (0.01) | 4.95 | |

مقادیر LSD بر اساس برهمکنش معنی‌دار نسل در سال

LSD values based on significant interaction of generation × year

جدول ۵- میانگین ارتفاع بوته (سانتی‌متر) اکوتیپ‌های یونجه

Table 5. Mean of plant height (cm) of alfalfa ecotypes

| Alfalfa ecotypes | اکوتیپ‌های یونجه | ۱۳۹۳ 2014 | ۱۳۹۴ 2015 | میانگین Mean |
|------------------|------------------|--------------|--------------|-----------------|
| Bami | بمی | 82.1 | 86.4 | 84.2 |
| Ghahavand | قهاوند | 81.4 | 85.6 | 83.5 |
| Kozare | کوزره | 79.4 | 81.1 | 80.2 |
| Legend | لجند | 73.2 | 81.4 | 77.3 |
| Mohajeran | مهاجران | 81.8 | 84.3 | 83.1 |
| Nik Shahri | نیک‌شهری | 79.6 | 81.8 | 80.7 |
| Rahnani | رهنانی | 78.5 | 81.2 | 79.8 |
| Sequel | سکوئل | 76.8 | 77.2 | 77.0 |
| Silvana | سیلوانا | 80.8 | 80.3 | 80.5 |
| Yazdi | یزدی | 79.7 | 85.0 | 82.4 |
| LSD (0.05) | | 4.85 | | |
| LSD (0.01) | | 6.37 | | |

داشتند. همین وضعیت برای ترکیب‌پذیری عمومی در نسل OP₃ مشاهده شد (جدول ۶). بیشترین ترکیب‌پذیری عمومی برای اکوتیپ‌های یزدی و نیک شهری بدست آمد. این اکوتیپ‌ها از مناطق گرم و معتدل با نمره خواب متفاوت نسبت به سایر اکوتیپ‌ها که از مناطق سرد انتخاب شده‌اند هستند، بنابراین به نظر می‌رسد که تلاقی اکوتیپ‌هایی با تفاوت جغرافیایی بیشتر و نمره خواب متفاوت، در بهبود عملکرد ارقام سینتتیک یا هیبریدهای یونجه از قبیل هیبریدهای آزاد و یا شبه هیبریدها موثرتر خواهد بود.

مقایسه میانگین ارتفاع بوته اکوتیپ‌های یونجه نشان داد که اکوتیپ بمی بیشترین (۸۴/۲ سانتی‌متر) و سکونل، لجنند و رهنانی کمترین (به ترتیب ۷۷/۰، ۷۷/۳ و ۷۹/۸ سانتی‌متر) ارتفاع بوته را داشتند (جدول ۵).

برآورد ترکیب‌پذیری عمومی برای عملکرد علوفه خشک در دو سال برای نسل‌های آزاد گرده‌افشان نشان داد که اکوتیپ‌های یزدی، سیلوانا، نیک‌شهری و قهاوند ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌داری را برای عملکرد علوفه خشک در نسل OP₂ در هر دو سال

جدول ۶- ترکیب‌پذیری عمومی اکوتیپ‌های یونجه در دو نسل آزاد گرده‌افشان برای عملکرد علوفه خشک (تن در هکتار)

Table 6. General combining ability of alfalfa ecotypes in two generations of open pollination for dry forage yield

| Alfalfa ecotypes | اکوتیپ‌های یونجه | (t.ha ⁻¹) | | | |
|------------------|------------------|-----------------------|-------|-----------------|-----------------|
| | | ۱۳۹۳ | | ۱۳۹۴ | |
| | | 2014 | 2015 | OP ₂ | OP ₃ |
| Bami | بمی | -0.59 | -1.05 | -2.97 | -1.03 |
| Ghahavand | قهاوند | 0.32 | 0.08 | 0.31 | 0.64 |
| Kozare | کوزره | -1.15 | -1.93 | -1.34 | -1.2 |
| Legend | لجنند | -1.09 | -0.71 | -0.92 | -0.97 |
| Mohajeran | مهاجران | -0.52 | -0.61 | 0.42 | 0.43 |
| Nik Shahri | نیک‌شهری | 2.1 | 1.22 | 1.61 | 1 |
| Rahnani | رهنانی | 1.16 | -1.41 | 0.8 | -0.09 |
| Sequel | سکونل | -2.58 | -1.15 | -0.48 | -1.28 |
| Silvana | سیلوانا | 0.68 | 1.07 | 0.66 | 0.2 |
| Yazdi | یزدی | 1.71 | 4.45 | 2.74 | 2.3 |

که انتخاب عمده گیاهان با بنیه قوی (Vigorous) در نسل‌های خودگشنی، باعث افزایش فراوانی ژن‌های مطلوب و مجموعه ژنی (linkat ها) شده و ارزش اصلاحی گیاهان والدی گزینش موفق را امکان‌پذیر می‌کند (Scotti, et al., 2000). خودباروری باعث پس‌روی شدید در یونجه، به خصوص عملکرد علوفه نسبت به ارتفاع بوته شد. پس‌روی بنیه گیاه به صورت افزایشی از S₁ تا S₃ مشاهده نشد. به نظر می‌رسد که بازگشت بنیه گیاهی در S₃ به علت انتخاب اجتناب‌ناپذیر در S₂ برای باروری و بنیه گیاهی باشد، بطوری‌که

نتیجه‌گیری

نتایج سال‌های خودباروری (S₁, S₂, S₃) نشان داد که اکوتیپ‌های یونجه نسبت به خودگشنی واکنش‌های متفاوتی داشتند. شدت کاهش در صفات اندازه‌گیری شده در نسل اول خودباروری بسیار بیشتر از نسل دوم بوده و در نسل سوم خودباروری، میزان کاهش صفات بسیار کمتر بود. کاهش معنی‌دار در پس‌روی خویش‌آمیزی با انتخاب گیاهان از نظر بنیه گیاهی (ویگور) در طول سه نسل خودگشنی توسط روتیلی (Rotili, 1976) نیز گزارش شده است. به نظر می‌رسد

داشتند. همین وضعیت برای ترکیب‌پذیری عمومی در نسل OP_3 مشاهده شد. بطور کلی بیشترین ترکیب‌پذیری عمومی برای اکوتیپ‌های یزدی و نیک‌شهری بدست آمد. این اکوتیپ‌ها از مناطق گرم و معتدل با نمره خواب متفاوت نسبت به سایر اکوتیپ‌ها که از مناطق سرد انتخاب شده‌اند هستند، بنابراین به نظر می‌رسد که تلاقی اکوتیپ‌هایی با تفاوت جغرافیایی بیشتر و نمره خواب متفاوت، در بهبود عملکرد ارقام سینتتیک یا هیبریدهای یونجه از قبیل هیبریدهای آزاد و یا شبه هیبریدها موثرتر خواهد بود.

سپاسگزاری

از بخش تحقیقات ذرت و گیاهان علوفه‌ای موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج، برای حمایت و در اختیار قرار دادن امکانات برای اجرای این تحقیق سپاسگزاری می‌شود.

در نسل S_2 بسیاری از بوته‌هایی که ضعیف بودند و خودبارور شدند، بذری تولید نکردند، بنابراین فقط بوته‌های قوی‌تر S_2 بذر کافی برای نسل سوم تولید کردند. بر این اساس نتاج S_3 فقط از بهترین بوته‌های S_2 تولید شدند. نسل OP_2 که انتظار می‌رفت عملکرد بالایی داشته باشد، کاهش معنی‌داری در عملکرد علوفه خشک نسبت به نسل OP_1 نشان داد. این نتایج نشان می‌دهد که بازگشت بنیه گیاهی در لاین‌های خودبارور شده یونجه با یک نسل دگرگرده افشانی امکان‌پذیر نیست. بازگشت بنیه گیاهی با گرده افشانی آزاد در تلاقی‌های OP_2 بیشتر از OP_3 بدست می‌آید.

برآورد ترکیب‌پذیری عمومی برای عملکرد علوفه خشک در دو سال برای نسل‌های آزاد گرده‌افشان نشان داد که اکوتیپ‌های یزدی، سیلوانا، نیک‌شهری و قهاوند ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌داری را برای عملکرد علوفه خشک در نسل OP_2 در هر دو سال

References

منابع مورد استفاده

- Al Lawati, A.H., C.A. Pierce, L.W. Murray and I.M. Ray. 2010. Combining ability and heterosis for forage yield among elite alfalfa core collection accessions with different fall dormancy responses. *Crop Sci.* 50: 150-158.
- Bhandari, H.S., C.A. Pierce, L.W. Murray and I.M. Ray. 2007. Combining abilities and heterosis for forage yield among high yielding accessions of the alfalfa core collection. *Crop Sci.* 47: 665-673.
- Brummer, E.C. 1999. Capturing heterosis in forage crop cultivar development. *Crop Sci.* 39: 943-954.
- Davis, R. L. 1955. An evaluation of S1 and polycross progeny testing. *Agron. J.* 47: 572-575.
- Davis, R.L. and C.A. Panton. 1962. Combining ability in alfalfa. *Crop Sci.* 2: 35-37.
- Demarly, Y. 1963. Genetiques des tetraploids at amelioration des plantes. *These Fac. Sci. Ann. Ammelior Plantes.* 13: 307-400.
- Downey, R.K. 1962. Progeny testing and the formation of synthetic varieties of alfalfa. *Diss. Abs.* 22: order No. 62-162: 2529-30. *In: Plant Breeding Abs.* 417-1963.
- Hill, R.R., Jr. J.S. Shenk and R.F. Barnes. 1988. Breeding for yield and quality. P. 809-825. *In: Hanson, A.A., D.K. Barnes and R.R. Hill Jr. (Eds.). Alfalfa and Alfalfa Improvement. Agronomy Monographs.* 29. ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI. USA.
- McAllister, D. R. 1951. The combining ability of selected alfalfa clones as related to the self fertility of the

- clones, their F₁ and F₂ progenies. Iowa State Coll. J. Sci. 25: 283-284.
- Michaud, R., W.F. Lehman and M.D. Rumbaugh. 1988.** World distribution and historical development. 25-91. *In: Hanson, A.A, D.K. Barnes and R.R. Hill Jr. (Eds.). Alfalfa and Alfalfa Improvement. Agronomy Monographs. 29. ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI. USA.*
- Milić, D., D. Karagić, S. Vasiljevic, A. Mikić, B. Milošević and S. Katić. 2014.** Breeding and improvement of quality traits in alfalfa (*Medicago sativa* ssp. *sativa* L.). *Genetika. 46: (1) 11-18.*
- Milić, D., S. Katić, A. Mikić and D. Karagić. 2010.** Heterotic response from a diallel analysis between alfalfa cultivars of different geographic origin. *In: Cristian, H. (Ed.). Sustainable use of Genetic Diversity in Forage and Turf Breeding. 551–556. Springer. New York. USA.*
- Monirifar, H. 2010.** Half-sib progeny test for selection of best parents for development of a synthetic variety of alfalfa. *Iran. J. Crop Sci. 12 (1): 66- 75. (In Persian with English abstract).*
- Panella, A. and F. Lorenzetti, 1966.** Selfing and selection in alfalfa breeding programs. *Euphytica, 15: 248-257.*
- Riday, H. and E.C. Brummer. 2002.** Heterosis of agronomic traits in alfalfa. *Crop Sci. 42: 1081–1087.*
- Rotil, P. 1976.** Performance of diallel crosses and second generation synthetics of alfalfa derived from partly inbred parents. II. Earliness and mortality. *Crop Sci. 17: 245-248*
- Rotili, P., G. Gnocchi, C. Scotti and L. Zannone. 2001.** Some Aspects of Breeding Methodology in Alfalfa. *Institute Sperimentale Perle Colture Foraggere-V.le Piacenza, 29-26900, Lodi, Italy.*
- Scotti, C. and E.C. Brummer. 2010.** Creation of Heterotic Groups and Hybrid Varieties *In: Huyghe, C. (Ed.). Sustainable use of Genetic Diversity in Forage and Turf Breeding. 509- 518.*
- Scotti, C., F. Pupilli, S. Salvi and S. Ariconi, 2000.** Variation in vigor and in RFLP-estimated heterozygosity by selfing tetraploid alfalfa: new perspective for the use of selfing in alfalfa breeding. *Theor. Appl. Genet. 101: 120-125.*
- Sriwatanapongse, S. and C.P. Wilsie. 1968.** Intra- and inter variety crosses of *Medicago sativa* L. and *Medicago falcata* L. *Crop Sci. 8: 465- 466.*
- Tysdal, H.M., T.A. Kiesselbach and H.L. Westover. 1942.** Alfalfa Breeding. *Research Bulletin: Bulletin of the Agricultural Experiment Station of Nebraska. No. 124. Nebraska, USA.*
- Veronesi, F., C. Huyghe and I. Delgado. 2006.** Lucerne Breeding in Europe: Results and Research Strategies for Future Developments. *In: Lloveras, J., A. Gonzalez-Rodriguez, O. Vazquez-Yanez, J. Pineiro, O. Santamaria, L. Olea and M.J. Poblaciones (Eds.) Sustainable Grassland Productivity. Proceedings on the 21st General Meeting of the European Grassland Federation. 3-6 April 2006, Badajoz, Spain.*
- Wilcox, J.R. 1962.** Combining ability of nine alfalfa clones and reciprocal differences among their hybrids. *Diss. Abs. 22: order No. 61-6191, 2555. In: Plant Breeding Abs. 418- 1963.*

Assessment of combining ability and comparison of selected selfed and open pollinated generations clones of alfalfa (*Medicago sativa* L.) ecotypes

Ghotbi, V.¹ and A. Moghaddam²

ABSTRACT

Ghotbi, V. and A. Moghaddam. 2021. Assessment of combining ability and comparison of selected selfed and open pollinated generations clones of alfalfa (*Medicago sativa* L.) ecotypes. **Iranian Journal of Crop Sciences. 22(4): 365-375. (In Persian).**

This study was conducted to quantitatively evaluate selfed (S_1 , S_2 and S_3) and open pollinated (OP_1 , OP_2 and OP_3) generations of alfalfa in terms of inbreeding depression and general combining ability of S_2 families of alfalfa ecotypes. Selfing of selected plants to produce three generations of S_1 , S_2 and S_3 generations were performed under the field conditions and the clones of each selfed- generations were used for producing of open pollinated- generations. For comparison of dry forage yield and plant height of selfed (S_1 , S_2 , S_3) and open pollinated (OP_1 , OP_2 , OP_3) generations randomized complete block design with three replications was employed in 2015 and 2016 growing seasons at Plant and Seed Improvement Institute, Karaj, Iran.. The results revealed significant differences among ecotypes, generations and growing seasons and their two- way and three-way interactions for dry forage yield. Alfalfa ecotypes reacted differently to selfing, and the highest rate of vigor depression was observed in the S_1 generation tropical ecotypes. However, vigor recovery observed in all ecotypes with continuing selfing and vigor remarkably increased in S_3 generation. Vigour recovery was observed more in OP_2 than OP_3 . The highest general combining ability for dry forage yield observed for Yazdi and Nikshahri ecotypes which are tropical ecotypes. Therefore, crossing of these ecotypes with ecotypes originated from different climatic conditions could be more effective in improvement of forage yield of synthetic and hybrid (semi or free hybrid) varieties in alfalfa.

Key words: Alfalfa, Forage yield, Inbreeding depression, Selfing and Vigour.

Received: April, 2020 Accepted September, 2020

1. Assistant Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran (Corresponding author) (Email: v.ghotbi@areoo.ac.ir, vghotbi@spii.ir)

2. Assistant Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran