

سازگاری و تنوع ژنتیکی در برخی از ویژگی‌های گیاه رشادی (*Arabidopsis thaliana*)

اصغر مصلح آرانی

استادیار، دانشکده منابع طبیعی - دانشگاه یزد، صندوق پستی ۷۴۱-۸۹۱۹۵، پست الکترونیک: amosleh@yazduni.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۹/۱

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۳/۱

چکیده

در این تحقیق سازگاری و تنوع ژنتیکی در برخی ترکیبات شیمیایی بذر، صفات مورفولوژیک، مقاومت به آفات بذرخوار (*Ceutorhynchus atomus* (Curculionidae) و *C. contractus* در جمعیت‌هایی از گیاه رشادی (*Arabidopsis thaliana*) مورد بررسی قرار گرفت. بذر سه جمعیت از رویشگاه ماسه‌ای و دو جمعیت از رویشگاه غیرماسه‌ای جمع‌آوری و در شرایط کنترل شده اتاق رشد کشت شدند. رزت ۱۰ گیاه در ۸ تکرار از هر ۵ جمعیت بر اساس طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی در ردیف‌هایی با فواصل ۱۰ سانتیمتری از یکدیگر کشت شدند. در آزمایشی دیگر مقدار گلوکوزینولیت در بذر این گیاهان توسط دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا شناسایی شد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر ژنوتیپ، اثر محیط و اثر ژنوتیپ در محیط برای بیشتر صفات مورد مطالعه معنی‌دار بودند. تنوع ژنتیکی زیادی در بین ژنوتیپ‌ها برای تمام صفات مورد مطالعه ملاحظه شد. این ژنوتیپ‌ها به‌ویژه در متابولیت ثانویه گلوکوزینولیت از هم متمایز شدند. غلظت کل گلوکوزینولیت در ژنوتیپ‌های با منشأ ماسه‌ای بیشتر از ژنوتیپ‌های با منشأ غیرماسه‌ای بود و به همین دلیل نسبت به آفت‌زدگی مقاوم‌تر بودند. اثرهای متقابل ژنوتیپ در محیط نشان داد که ژنوتیپ‌ها تغییرات متفاوتی را در برابر تغییر محیط از خود نشان می‌دهند. ژنوتیپ‌های با منشأ ماسه‌ای و ژنوتیپ‌های با منشأ غیرماسه‌ای هر کدام در رویشگاه اصلی خود عملکرد بهتری نسبت به دیگری داشتند و این به‌عنوان سازگاری این گیاهان به شرایط رویشگاهی خود ارزیابی گردید. نتایج این تحقیق تأیید می‌کند که جهت انتخاب و معرفی گونه‌های برتر از نظر صفات مطلوب مرتعی و زراعی باید به نحوه سازگاریشان به محیط کشت نیز توجه نمود.

واژه‌های کلیدی: گیاه رشادی، سازگاری، تنوع ژنتیکی، گلوکوزینولیت.

مقدمه

زراعی و مرتعی مورد بررسی قرار گرفته است (Spahbodi *et al.*, 2003; Abdi & Maddah Arefi, 2003; Salar *et al.*, 2005; Jafari *et al.*, 2004; Tabaei-Aghdai & Babaei, 2003; Jami *et al.*, 2007; Pourmeidani *et al.*, 2007). تنوع ژنتیکی بعضی از صفات از جمله متابولیت‌های ثانویه در گیاهان کمتر مورد توجه قرار گرفته است. گیاهان مجموعه عظیمی از

بررسی تنوع موجود بین اکوتیپ‌های یک گونه راه را برای انتخاب و معرفی جمعیت‌های برتر از نظر صفات مطلوب مرتعی و زراعی هموار می‌نماید. تنوع ژنتیکی موجود در خصوصیات مورفولوژیک و روابط آنها با کیفیت و عملکرد علوفه در تعداد زیادی از گونه‌های

رشادی گیاهیست یکساله که بومی اروپا و آسیای مرکزی است. محققى به نام Hoffmann (۲۰۰۲) ضمن تشریح جغرافیای زیستی این گیاه نشان داد که دمای بالا و بارندگی کم تابستانه از یک طرف و دمای پایین در پاییز و بهار از طرف دیگر گسترش این گونه را محدود می‌کند. با وجود این محدودیت‌ها، رشادی بیشتر از هر گونه‌ای از خانواده شب‌بو (Brassicaceae) در عرض جغرافیایی گسترش یافته است (از $68^{\circ} N$ شمال اسکانندیناوی تا 0° کوه‌های کنیا).

سالانه صدها تحقیق علمی در زمینه‌های متعدد ژنتیکی، سلولی - مولکولی، اکولوژیکی و فیزیولوژیکی بر روی این گیاه که به موش آزمایشگاهی در تحقیقات گیاهی معروف است انجام می‌شود. چرخه زندگی کوتاه، تولید قابل توجه بذر، حجم و تعداد کروموزم‌های کم ($2n=10$)، نقشه ژنتیکی شناسایی شده و تعداد اکوتیپ‌های طبیعی از خصوصیات بارز این گیاه می‌باشد. اگرچه رشادی یک گیاه خودگشن است و تنوع ژنتیکی داخل جمعیتی آن کم است (Bergelson et al., 1998)، ولی به دلیل وجود رویشگاه‌های این گیاه در اقلیم‌های مختلف و شرایط متنوع محیطی از تنوع ژنتیکی بین جمعیتی نسبتاً زیادی برخوردار بوده و جهت مطالعات سازگاری در گیاهان مناسب است. تنوع ژنتیکی زیادی برای زمان گلدهی و بعضی از صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی برای گیاه رشادی نشان داده شده است (Pigliucci & Marlow, 2001; Mitchell-Olds, 2001; Kover & Schaal, 2002, Koornnef et al., 2004). با وجود این، هیچ تحقیقی که نشان دهد این تفاوت‌ها نتیجه سازگاری ژنتیکی است و باعث می‌شود تا این گیاه در رویشگاه اصلی خود نسبت به دیگر گیاهان به لحاظ بازده و عملکرد کلی ارجحیت داشته باشد وجود ندارد.

متابولیت‌های ثانویه را تولید می‌کنند. از جمله این مواد موادی هستند که در رشد و نمو گیاه شرکت نمی‌کنند اما در واکنش گیاه به عوامل محیطی تاثیرگذار هستند. برای مثال، ترپنوئیدها^۱ در جلب حشرات، فلاونوئیدها^۲ در حفاظت از گیاه در مقابل اشعه ماورای بنفش و آلکالوئیدها^۳ و گلوکوزینولیت‌ها^۴ در سیستم دفاعی گیاه در برابر آفات عمل می‌کنند. متابولیت‌های ثانویه به طور مستقیم و یا غیرمستقیم بر عملکرد و بازده گیاهان تاثیر گذاشته، در نتیجه این بررسی تنوع ژنتیکی آنها حائز اهمیت می‌باشد (Mauricio, 1998). گیاهان در طول زندگی خود توسط عوامل زیادی از جمله آفات گیاه‌خوار، نماتدها، قارچ‌ها و باکتری‌ها مورد حمله قرار می‌گیرند و این عوامل موجب کاهش محصولات زراعی و مرتعی می‌گردند. گیاهان سازوکارهای دفاعی متفاوتی را برای دفاع از خود، اتخاذ می‌کنند. یکی از آنها دفاع شیمیایی است که گیاهان با تولید متابولیت‌های ثانویه مانند آلکالوئیدها، گلوکوزینولیت‌ها، فنل‌ها و غیره در برابر آفات مقاومت می‌کنند (Fraenkel, 1959). بنابراین، تنوع ژنتیکی در متابولیت‌های ثانویه موجب تنوع در تحمل گیاهان به آفات گردیده و بدین لحاظ مطالعه آنها ضروریست. در این مطالعه گیاه رشادی (*Arabidopsis thaliana*) به عنوان گیاه الگو انتخاب شد. از دلایل انتخاب این گیاه، وجود متابولیت ثانویه گلوکوزینولیت در آن می‌باشد که نقش این ماده در دفع آفات بررسی و به اثبات رسیده است (Mauricio, 1998).

-
- 1 - Terpenoids
 - 2 - Flavonoids
 - 3 - Alkaloids
 - 4 - Glucosinolates

(دو رویشگاه اصلی این گیاه در کشور هلند) جمع‌آوری شدند. رویشگاه ماسه‌ای دارای خاک از نوع ماسه ساحلی با ۰/۶۴ درصد هوموس و حاوی ۵/۱۱ درصد رطوبت می‌باشد، مقدار هوموس در رویشگاه غیرماسه‌ای ۱/۴ درصد و حاوی ۱۲/۷۸ درصد رطوبت می‌باشد. جهت کاستن از اثرهای مادری که از شرایط متفاوت محیطی ایجاد می‌شوند، بذرها در شرایط کنترل شده اتاق رشد برای یک نسل کشت شدند. شرایط گلدهی مناسب برای این گیاه شامل: دمای 20°C ، ۷۰ درصد رطوبت نسبی و دوره نوری ۶-۱۸ (تاریکی-روشنایی) می‌باشد. در زمانی که رزت‌ها دارای قطر ۳ سانتیمتر بودند دو ماه در شرایط سرمای 4°C قرار داده شدند. بذره‌های حاصل از این گیاهان مجدداً در شرایط مشابه قبل در اتاق رشد کاشته و دو ماه بعد وقتی رزت نهال‌ها به قطر ۴ سانتی‌متر رسیدند به دو رویشگاه اصلی این گیاهان منتقل شدند. رزت ۱۰ گیاه در ۸ تکرار از هر ۵ جمعیت بر اساس طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی در ردیف‌هایی با فواصل ۱۰ سانتی‌متری از یکدیگر (در مجموع ۸۰۰ رزت در دو رویشگاه) کاشته شدند. گیاهان فقط یک بار در طول آزمایش و آن هم بلافاصله پس از کاشت، آبیاری شدند.

صفتی نظیر عملکرد گیاه بر حسب تعداد میوه، صفات مورفولوژیکی مانند تعداد و ارتفاع ساقه و آفت زدگی میوه‌ها توسط دو گونه سوسک *Ceutorhynchus atomus* و *C. contractus* در هر دو رویشگاه اندازه‌گیری شدند. درصد آفت‌زدگی با شمارش تعداد میوه‌هایی که توسط سوسک‌ها مورد مصرف قرار گرفته بودند محاسبه شد. در آزمایشی دیگر بذره‌های چهار جمعیت گیاهی (دو جمعیت از هر رویشگاه) در شرایط کنترل شده اتاق رشد (20°C ، ۱۸ ساعت نور و ۷۰٪ رطوبت) رویانده شدند.

آزمایش‌های مربوط به ارزیابی تنوع ژنتیکی و سازگاری گیاهان اغلب در اتاق رشد، گلخانه‌ها و یا باغچه‌های آزمایشی در ایستگاه‌های تحقیقاتی انجام می‌شود. این مناطق به هر حال نمی‌توانند نماینده تمام شرایط حاکم بر مناطق رویشگاهی گیاهان باشند. در صورت سازگاری بعضی از ژنها به شرایط محیطی خاص، این گونه گیاهان قادر به بروز کامل صفات مربوط به این ژنها در محیط‌های دیگر نخواهند بود.

آزمایش کشت متقابل^۱ امروزه یکی از مهمترین روش‌های شناسایی صفات سازش یافته شناخته می‌شود. در این روش جهت مقایسه صفات دو ژنوتیپ، هر دو ژنوتیپ همزمان با هم در هر دو رویشگاه کاشته شده و با هم مقایسه می‌شوند. در این حالت هر دو ژنوتیپ فرصتی برای بروز صفات خود دارند.

هدف از این تحقیق نشان دادن سازگاری و تنوع ژنتیکی برخی ترکیبات شیمیایی بذر، صفات مورفولوژیک، مقاومت به آفات بذرخوار (*Curculionidae*) *C. contractus* و *Ceutorhynchus atomus* میوه در جمعیت‌های گیاه رشادی (*Arabidopsis thaliana*) می‌باشد. بررسی سازگاری و تنوع ژنتیکی این صفات در رشادی به روش کشت متقابل در شرایط طبیعی انجام نشده است. نتایج این تحقیق شناسایی ژن‌های کنترل کننده این صفات را برای محققان ژنتیک مولکولی در این گیاه هموار می‌نماید.

مواد و روشها

بذر گیاه رشادی از سه جمعیت (اکوتیپ) در رویشگاه ماسه‌ای و دو جمعیت از رویشگاه غیرماسه‌ای

کل آفت‌زدگی میوه در ژنوتیپ‌های ماسه‌ای کشت شده در رویشگاه ماسه‌ای ۲۲/۳ درصد و در رویشگاه غیرماسه‌ای ۷ درصد بود. این مقدار در ژنوتیپ‌های با منشأ غیرماسه‌ای به ترتیب ۳۸ و ۱۰/۳ درصد بود (جدول ۲ و ۳).

در مجموع حدود ۳۰ نوع گلوکوزینولیت از تجزیه HPLC-UV بذرهای ژنوتیپ‌های مختلف شناسایی شد. نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین گروه‌های اصلی گلوکوزینولیت بذرهای ژنوتیپ‌های مختلف در جدول‌های ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده است. اثرهای محیطی برای گروه‌های I و D اختلاف معنی‌داری را نشان داد (جدول ۴). مقایسه جدول ۵ و ۶ نشان می‌دهد که گیاهان زمانی که در رویشگاه ماسه‌ای کشت می‌شوند از غلظت گلوکوزینولیت بیشتری برخوردارند.

اثرهای ژنوتیپی بر روی صفات مورفولوژیکی، درصد آفت‌زدگی میوه و گلوکوزینولیت

اثرهای ژنوتیپی برای همه صفات مذکور اختلاف معنی‌داری را نشان داد (جدول‌های ۱، ۲ و ۳). این مسئله نشان‌دهنده تنوع ژنتیکی بین اکوتیپ‌های (جمعیت‌های) مختلف در کلیه صفات مورفولوژیکی مورد مطالعه و درصد آفت‌زدگی میوه می‌باشد. مقایسه ژنوتیپ‌های با منشأ ماسه‌ای و غیرماسه‌ای کشت شده در هر یک از رویشگاه‌ها نشان‌دهنده رشد بهتر ژنوتیپ‌های با منشأ غیر ماسه‌ای می‌باشد. اما درصد آفت‌زدگی ژنوتیپ‌های با منشأ غیر ماسه‌ای بطور معنی‌داری بیشتر از ژنوتیپ‌های با منشأ ماسه‌ای بود. این اختلاف در ژنوتیپ‌های کشت شده در رویشگاه ماسه‌ای بارزتر بود.

اثرهای ژنوتیپی برای غلظت گلوکوزینولیت نیز اختلاف معنی‌داری را نشان داد (جدول ۴). غلظت کل گلوکوزینولیت در ژنوتیپ‌های با منشأ ماسه‌ای به طور

بذرهای حاصل از این گیاهان برای اندازه‌گیری مقدار گلوکوزینولیت آنها به روش تعمیم داده شده توسط Van Dam و همکاران (۲۰۰۳) عصاره‌گیری و سپس مقادیر کل انواع گلوکوزینولیت توسط دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC-UV) شناسایی شدند. ۳۰ میلی‌گرم بذر ۷ گیاه از ۴ جمعیت برای این تجزیه و تحلیل استفاده شد. از حلال متانول ۷۰ درصد جهت استخراج گلوکوزینولیت و از آرپل سولفاتاز روی ستون - DEAE Sephadex A25 جهت سولفات‌زدایی استفاده شد. جذب نوری نمونه‌ها در طول موج ۲۲۹ نانومتر قرائت شدند. جهت مقایسه آسان‌تر، گلوکوزینولیت‌ها به چهار گروه اصلی تقسیم شدند: I = ایندول گلوکوزینولیت، D = آلیفاتیک گلوکوزینولیت (الفین)، E = گلوکوزینولیت با زنجیره الکلی، A = گلوکوزینولیت با زنجیره سولفور. داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صفات بر اساس مدل طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از نرم افزار SPSS مورد تجزیه واریانس و مقایسه میانگین قرار گرفتند.

نتایج

اثرهای محیطی بر روی صفات مورفولوژیکی، درصد آفت‌زدگی میوه و گلوکوزینولیت

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات مورفولوژیکی و درصد آفت‌زدگی میوه در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده است. اثرهای محیطی برای همه صفات مذکور اختلاف معنی‌داری را نشان داد. مقایسه جدول ۲ و ۳ نشان می‌دهد که گیاهان در رویشگاه غیرماسه‌ای رشد بیشتری دارند. به علاوه درصد آفت‌زدگی توسط حشرات بالغ و لاروها برای همه ژنوتیپ‌ها در رویشگاه غیر ماسه‌ای به طور معنی‌داری کمتر بود. درصد

این آزمایش نشان داد که گیاهان متعلق به رویشگاه‌های متفاوت دارای تنوع ژنتیکی زیادی در تمام صفات مورد مطالعه بودند. این ژنوتیپ‌ها به‌ویژه در متابولیت ثانویه گلوکوزینولیت از هم متمایز شدند. غلظت کل گلوکوزینولیت در ژنوتیپ‌های با منشأ ماسه‌ای بیشتر از ژنوتیپ‌های با منشأ غیرماسه‌ای بود (جدول‌های ۵ و ۶). تنوع ژنتیکی در آفت‌زدگی که به این ترتیب در بین ژنوتیپ‌ها وجود داشت باعث افزایش میوه‌های سالم در ژنوتیپ‌های با منشأ ماسه‌ای در رویشگاه ماسه‌ای گردید. مقایسه کل میوه‌ها و میوه‌های سالم (جدول ۲) نشان از اهمیت ارتباط بین صفات گوناگون به‌ویژه تحمل گیاهان به آفات و عملکرد نهایی در گیاهان دارد.

فاصله بین جمعیت‌های گیاه رشادی در این تحقیق ۷ کیلومتر بود. این مسئله نشان می‌دهد که تغییرات محیطی هر چند کم، ولی ممکن است مسیر تکامل گیاهان را تغییر دهد. مطالعات مشابه در گیاهان تیره شب‌بو یافته‌های ما را تأیید می‌نماید. غلظت و تنوع گلوکوزینولیت در جمعیت‌های گیاه *Brassica oleracea* که در فاصله کمتر از ۱۵ کیلومتر در سواحل آتلانتیک کشور فرانسه و انگلیس رویش دارند، به‌طور معنی‌داری با هم متفاوت بودند. پایه‌هایی از این گیاه که حاوی مقدار بیشتری گلوکوزینولیت بودند، آفت‌زدگی کمتری نشان دادند (Gols et al., 2008). در این خصوص Mithen و همکاران (1993) نیز تنوع ژنتیکی در غلظت و تنوع گلوکوزینولیت را گزارش و آن را نتیجه تکامل این گیاهان در برابر آفات ارزیابی کردند.

همین‌طور Kliebenstein و همکاران (2004) و Kroymann و همکاران (2003) در شرایط آزمایشگاهی نشان دادند که گیاهان دارای غلظت بالای

معنی‌داری (در رویشگاه غیرماسه‌ای) بیشتر از دیگر ژنوتیپ‌ها بود (جدول ۶).

اثرهای ژنوتیپ در محیط

اثرهای متقابل ژنوتیپ در محیط برای کلیه صفات مورد مطالعه بجز برای درصد آفت‌زدگی میوه با لاروها و برای گروه‌های I, D و A معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن اثرهای متقابل ژنوتیپ در محیط نشان دهنده این موضوع است که ژنوتیپ‌ها تغییرات متفاوتی در برابر تغییر محیط از خود نشان می‌دهند. نتایج نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های با منشأ ماسه‌ای با تغییر محیط (محیط کاشت) تغییر کمتری نسبت به ژنوتیپ‌های با منشأ غیرماسه‌ای از خود نشان می‌دهند.

بحث

طبق تعریف Van Groenendael (1985) اثرهای متقابل ژنوتیپ در محیط نشان‌دهنده سازگاری می‌باشد. نتایج این آزمایش نیز این تاثیر را برای بیشتر صفات مورد مطالعه نشان داد. در این آزمایش میوه‌های سالم به‌عنوان عملکرد نهایی ژنوتیپ‌ها اندازه‌گیری شدند. در حقیقت با اندازه‌گیری این صفت مقاومت گیاهان به آفات نیز در اندازه‌گیری‌ها لحاظ گردید. جدول‌های ۲ و ۳ نشان می‌دهند که درصد میوه‌های سالم در ژنوتیپ‌های با منشأ ماسه‌ای در رویشگاه خود بیشتر است و ژنوتیپ‌های با منشأ غیرماسه‌ای نیز در رویشگاه اصلی خود (رویشگاه غیرماسه‌ای) درصد میوه‌های سالم بیشتری تولید می‌کنند. این آزمایش به وضوح نشان می‌دهد در صورت سازگاری بعضی از ژنها به شرایط محیطی خاص، این گونه گیاهان ممکن است قادر به بروز کامل صفات مربوط به این ژنها در محیط‌های دیگر نباشند.

تعداد و ارتفاع ساقه در گیاهان با منشأ ماسه‌ای از عملکرد ضعیف‌تری نسبت به گیاهان با منشأ غیرماسه‌ای (کشت شده در هر دو رویشگاه) برخوردار بودند (جدول‌های ۲ و ۳). از آنجا که همزمان گیاهان با منشأ ماسه‌ای حاوی گلوکوزینولیت بیشتری هستند بنابراین ممکن است سنتز این ترکیبات شیمیایی خود نیازمند صرف انرژی باشند، انرژی که در غیر این صورت موجب رشد رویشی گیاه خواهند شد. در این خصوص Mauricio (1998) نشان داد که رابطه معکوسی بین مقدار گلوکوزینولیت و تعداد میوه در گیاهان رشادی وجود دارد. به عبارت دیگر تولید گلوکوزینولیت برای گیاه هزینه‌دار می‌باشد. هزینه‌ای که می‌تواند برای رشد رویشی یا زایشی یا هر دو صرف شود.

نتایج این تحقیق تأیید می‌کند که جهت انتخاب و معرفی گونه‌های برتر از نظر صفات مطلوب مرتعی و زراعی باید به تمام صفات (به ویژه ترکیبات شیمیایی) گیاه و ارتباط آنها با یکدیگر و به نحوه سازگاریشان به محیط توجه نمود.

گلوکوزینولیت مقاومت بیشتری در برابر آفت چند میزبان *Trichoplusia ni* نسبت به گیاهان با غلظت کمتر گلوکوزینولیت دارند. در شرایط صحرایی نیز نتایج مشابه شرایط آزمایشگاهی توسط Mauricio و Rausher (1997) بدست آمد.

واکنش آفات تک میزبان در برابر غلظت گلوکوزینولیت در گیاهان کاملاً متفاوت از آفات چند میزبان می‌باشد. گلوکوزینولیت نه تنها اثر منفی روی رشد آفات تک میزبان ندارند بلکه در بسیاری موارد این آفات از بوی گلوکوزینولیت جهت یافتن گیاه میزبان استفاده می‌کنند. در شرایط آزمایشگاهی Kliebenstein و همکاران (2002) نشان دادند که آفت تک میزبان *Plutella xylostella* صدمه بیشتری به گیاهان با غلظت بالای گلوکوزینولیت وارد نمودند. این محققان نتیجه‌گیری کردند که این ماده می‌تواند به عنوان تحریک‌کننده غذایی برای آفات تک میزبان عمل نماید. در تحقیق حاضر گیاهان با منشأ ماسه‌ای (که حاوی گلوکوزینولیت بیشتری بودند) کمتر مورد حمله آفات تک میزبان *C. atomus* و *C. contractus* قرار گرفتند. آفت‌زدگی کمتر در این گیاهان ممکن است با عوامل دیگری نیز در ارتباط باشد.

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی و درصد آفت‌زدگی میوه در گیاه رشادی

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | ضریب تغییرات (CV) |
|-------------------|------------|----------------|-------------|---------------|---------------|-------------------|
| | | تعداد ساقه | ارتفاع ساقه | تعداد کل میوه | میوه‌های سالم | |
| ژنوتیپ | ۴ | ۰/۶۳** | ۰/۰۸۶* | ۰/۶۷** | ۰/۶۴** | ۴۲ |
| محیط | ۱ | ۱۲/۹۶** | ۲۹/۵۰** | ۱۱۵/۶۱** | ۲۰۹/۳۹** | ۳۱ |
| ژنوتیپ × محیط | ۴ | ۰/۱۰* | ۰/۰۸۴* | ۰/۲۱* | ۱/۰۱۷** | ۳۸ |
| ضریب تغییرات (CV) | | ۳۳ | ۱۷ | ۲۵ | ۳۸ | ۴۲ |

ns: به ترتیب در سطح ۵ و ۱ درصد معنی‌دار، **: به ترتیب در سطح ۵ و ۱ درصد معنی‌دار، ns: غیر معنی‌دار

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیکی و آفت‌زدگی میوه در ژنوتیپ‌های گیاه رشادی کشت شده در رویشگاه ماسه‌ای

| جمعیت | تعداد ساقه | ارتفاع ساقه | تعداد میوه | میوه‌های سالم | آفت‌زدگی با حشره بالغ (%) | آفت‌زدگی با لارو (%) |
|-------|------------|-------------|------------|---------------|---------------------------|----------------------|
| S1 | ۳/۷۲a | ۱۵/۳۴ a | ۳۵/۵۵ a | ۲۰/۳۴ bc | ۳۲/۷۵ a | ۱۱/۸۱a |
| S2 | ۴/۰a | ۱۶/۲۲a | ۳۸/۶۹ a | ۲۴/۷۲ c | ۳۰/۰۷ a | ۸/۲۴ ab |
| S3 | ۴/۵a | ۱۵/۰ ab | ۳۱/۹۲ a | ۱۶/۵۱ b | ۳۷/۹۷ a | ۲۱/۹۳ab |
| I1 | ۴/۴۵a | ۱۶/۵۹ a | ۳۷/۰۳ a | ۷/۹۲ a | ۵۵/۷۷ b | ۲۱/۹۳ c |
| I2 | ۵/۵۳ b | ۱۹/۸۶ b | ۶۱/۴۹ b | ۱۵/۸۹ b | ۵۸/۱۰ b | ۱۶/۵۹bc |

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون توکی (Tukey) در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیکی و آفت‌زدگی در ژنوتیپ‌های گیاه رشادی کشت شده در رویشگاه غیر ماسه‌ای

| جمعیت | تعداد ساقه | ارتفاع ساقه | تعداد میوه | میوه‌های سالم | آفت‌زدگی با حشره بالغ (%) | آفت‌زدگی با لارو (%) |
|-------|------------|-------------|------------|---------------|---------------------------|----------------------|
| S1 | ۷/۱۲a | ۳۸/۶۷ a | ۲۲۲/۴۴ a | ۱۸۲/۳۷ a | ۱۳/۸۰ b | ۵/۳۴ab |
| S2 | ۶/۷a | ۴۰/۵۹ab | ۲۳۶/۳ ab | ۲۰۳/۴۳ ab | ۹/۶۷ a | ۴/۱۷ a |
| S3 | ۸/۰۱ab | ۴۳/۲۱ c | ۲۴۴/۷ ab | ۲۰۱/۸۱ ab | ۱۲/۳۷ ab | ۶/۴۸bc |
| I1 | ۹/۴۷ bc | ۴۴/۰۴c | ۲۶۸/۹ ab | ۲۱۴/۱۱ ab | ۱۲/۳۱ ab | ۸/۸۰ d |
| I2 | ۹/۹۰ c | ۴۰/۴۸ab | ۳۰۲/۸ b | ۲۴۸/۸۷ b | ۱۲/۴۵ ab | ۷/۷۰cd |

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون توکی (Tukey) در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

جدول ۴- تجزیه واریانس گروه‌های اصلی گلوکوزینولیت بذرها در ژنوتیپ‌های گیاه رشادی

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | |
|---------------|------------|----------------|---------|---------|---------|
| | | A | E | D | I |
| ژنوتیپ | ۳ | ۲۹/۸۶** | ۳۲/۵۲** | ۷۱/۲۱* | ۰/۲۶ns |
| محیط | ۲ | ۳/۶۹ns | ۱/۵۱ns | ۸۷/۷۴* | ۱/۰۴** |
| ژنوتیپ × محیط | ۶ | ۵/۰۸ns | ۳/۸۳* | ۱۵/۵۱ns | ۰/۱۳ ns |

* و ** به ترتیب در سطح ۵ و ۱ درصد معنی‌دار، ns: غیر معنی‌دار

جدول ۵- مقایسه میانگین گلوکوزینولیت ژنوتیپ‌های کشت شده در رویشگاه ماسه‌ای. (مقادیر بر حسب میکرومول بر گرم می‌باشد)

| گلوکوزینولیت | S1 (n=9) | S2 (n=7) | I1 (n=6) | I2 (n=5) |
|-----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| I | ۰/۱۸(۰/۰۴) a | ۰/۰۶(۰/۰۱) a | ۰/۱۱(۰/۰۱) a | ۰/۱۰(۰/۰۱) a |
| D | ۱۳/۶۶(۲/۶۴) a | ۸/۸۳(۰/۶۳) a | ۷/۳۲(۱/۲۸) a | ۱۱/۴۷(۲/۵۵) a |
| E | ۲/۰۵(۰/۲۵) a | ۱/۱۴(۰/۲۶) a | ۵/۲۴(۰/۹۹) b | ۰/۲۹(۰/۰۲) a |
| A | ۶/۳۳(۱/۳۰) a | ۴/۳۴(۰/۲۸) a | ۴/۴۵(۰/۲۸) a | ۶/۵۲(۰/۳۴) a |
| مجموع گلوکوزینولیت‌ها | ۲۲/۰۶(۴/۱۱) a | ۱۴/۳۱(۰/۹۳) a | ۱۷/۰۲(۱/۰۳) a | ۱۸/۲۹(۲/۸۶) a |

S1 و S2 دو جمعیت از رویشگاه ماسه‌ای و I1 و I2 از رویشگاه غیر ماسه‌ای می‌باشند. I = ایندول

گلوکوزینولیت، D = آلیفاتیک گلوکوزینولیت (الفین)، E = گلوکوزینولیت با زنجیره الکلی، A = گلوکوزینولیت با زنجیره سولفور (تجزیه واریانس از طریق آزمون توکی، $P < 0/05$).

جدول ۶- مقایسه میانگین گلوکوزینولیت ژنوتیپ‌های کشت شده در رویشگاه غیر ماسه‌ای. (مقادیر بر حسب میکرومول بر

گرم می‌باشد)

| گلوکوزینولیت | S1 (n=9) | S2 (n=9) | I1 (n=8) | I2 (n=9) |
|-----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| I | ۰/۱۲(۰/۰۴) a | ۰/۰۹(۰/۰۴) ab | ۰/۰۹(۰/۰۴) ab | ۰/۰۷(۰/۰۳) b |
| D | ۹/۰۴(۰/۷۹) a | ۱۰/۵۵(۰/۷۹) a | ۴/۷۲(۱/۱۷) b | ۵/۱۴(۰/۶۷) b |
| E | ۳/۰۳(۰/۴۲) a | ۳/۹۷(۰/۲۸) a | ۳/۸۶(۰/۳۴) a | ۰/۵۵(۰/۰۹) b |
| A | ۶/۲۸(۰/۶۵) a | ۶/۹۱(۰/۸۰) a | ۳/۶۴(۰/۲۱) b | ۵/۴۵(۰/۳۹) ab |
| مجموع گلوکوزینولیت‌ها | ۱۸/۳۶(۱/۴۵) a | ۲۱/۴۴(۱/۶۱) a | ۱۲/۲۲(۱/۲۰) b | ۱۱/۱۶(۰/۹۵) b |

سپاسگزاری

این تحقیق در دانشکده زیست‌شناسی دانشگاه لایدن هلند انجام شد که بدین وسیله از همکاری آن دانشکده و

حمایت‌های مالی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری کمال

تشکر و قدردانی را دارم.

منابع مورد استفاده

- locus. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA 100, 14587-14592.
- Mauricio, R., 1998. Costs of resistance to natural enemies in field populations of the annual plant *Arabidopsis thaliana*. The American Naturalist, 151: 20-28.
- Mauricio, R., and Rausher, M.D., 1997. Experimental manipulation of putative selection agents provides evidence for the role of natural enemies in the evolution of plant defense. Evolution, 51: 1435-1444.
- Mitchell-Olds, T., 2001. *Arabidopsis thaliana* and its wild relative; a model system for ecology and evolution. Trend in Ecology and Evolution. 16: 693-700.
- Mithen, R., Raybould, A.F., and Giamoustaris, A., 1995. Divergent selection for secondary metabolites between wild populations of *Brassica oleracea* and its implications for plant-herbivore interactions. Heredity, 75: 472-282.
- Pigliucci, M., and Marlow, E.T., 2001. Differentiation of flowering time and phenotypic integration in *Arabidopsis thaliana* in response to season length and vernalization. Oecologia, 127: 501-508.
- Pourmeidani, A., Bagheri, H., and Mirzaie-Nodoushan, H., 2007. Study of genetic variation in different *Stipa arabica* ecotypes of Iran. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research, 15: 10-20.
- Salar, N.A. Mirzaie-Nodoushan, H., and Jafari, A.A., 2005. Investigation of relationships between morphological traits in *Haloxylon aphyllum* genotypes. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research, 13: 258-271.
- Tabaei Aghdaei, S.R., and Babaei, M., 2003. Evaluation of genetic diversity for drought tolerance in stem cuttings of *Rosa damascena* Mill. Using multivariate analysis. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research, 11: 201-219.
- Van Dam, N.M., Witjes, L. and Svatos, A., 2003. Interaction between aboveground and belowground induction of glucosinolates in two wild *Brassica* species. New Phytologist, 161: 801-810.
- Van Groenendael, J.M., 1985. Differences in life histories between two ecotypes of *Plantago lanceolata* L.: 51-67. In: Afestschrift for John L. Harper (White, ed). Studies on plant demography: Academic Press: London.
- Abdi, N., and Maddah Arefi, H., 2003. Study of variation and seed deterioration of *Onobrychis sativa* germplasm, in natural resources genebank. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research, 11: 181-200.
- Bergelson, J., Stahl, E., Dudek, S., and Krettman, S., 1998. Genetic variation within and among populations of *Arabidopsis thaliana*. Genetics, 148: 1311-1323.
- Espahbodi, K., Mirzaie Nodoushan, H., Tabari, M., and Akbarinia, M., 2003. Investigation of genetic variability of wild service (*Sorbus torminalis* L. Cranz) by using of fruit traits in Farim Forest of Mazandaran province. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research, 11: 201-218.
- Fraenkel, G.S., 1959. The raison d'être of secondary plant substances. Science, 129: 1466-1470.
- Gols, R., Wagenaar, R., and Bukovinsky, T., 2008. Genetic variation in defence chemistry in wild cabbages affects herbivores and their endoparasites. Ecology, 89: 1616-1626.
- Hoffmann, M.H., 2002. Biogeography of *Arabidopsis thaliana* (L) Heynh. (Brassicaceae). Journal of Biogeography, 29: 125-134.
- Jafari, A.A., Ziaei Nasab, M., Hesamzadeh, S.M., and Madah, H., 2004. Genetic evaluation for seed and forage yield in red cover (*Trifolium pretense* L.) populations through multivariate analysis. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research, 12: 83-91.
- Jami, F., Sadeghi, S.E., Tabaei-Aghdaei, S.R., and Assareh, M.H., 2007. Evaluation of powdery mildew (*Sphaeroteca pannosa*) infection rate on different genotypes of *Rosa damascena* Mill. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research, 15: 74-84.
- Kliebenstein, D.J., Pedersen, D., and Mitchell-Olds, T., 2002. Comparative analysis of insect resistance QTL and QTL controlling the myrosinase/glucosinolate system in *Arabidopsis thaliana*. Genetics, 161: 325- 332.
- Koorneef, M., Alonso-Blanco, C., and Vreugdenhil, D., 2004. Naturally occurring genetic variation in *Arabidopsis thaliana*. Annal Review Plant Biology, 55: 141-172.
- Kover, P., and Schaal, B., 2002. Genetic variation for disease resistance among *Arabidopsis thaliana* ecotypes. Proc Nat Acad Sc USA, 99: 11270-11274.
- Kroymann, J., Donnerhacke, S., Schnabelrauch, D. and Mitchell-Olds, T., 2003. Evolutionary dynamics of an *Arabidopsis* insect resistance quantitative trait

Adaptation and genetic variation of several characteristics of *Arabidopsis thaliana*

A. Mosleh Arany

Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, I.R.Iran. E.Mail: amosleh@yazduni.ac.ir

Received:22.05.2009

Accepted:22.11.2009

Abstract

Adaptation and genetic variation for morphological traits, glucosinolates concentration of seed, resistance to specialist weevils including *Ceutorhynchus atomus* and *C. contractus* (Curculionidae) were evaluated in *Arabidopsis thaliana*. Seeds were collected from a dune (3 populations) and inland (2 populations) habitats. Rosettes from these seeds were provided in a growth room and transplanted between two habitats. The experiment was conducted in a randomised complete block design with 10 plants in 8 replicates of 5 populations. In another experiment seeds of these plants were used for HPLC-UV analysis. Significant effects of site, genotype and site-genotype interaction were observed for almost all the traits especially for glucosinolate concentration. Dune origin plants had more glucosinolate concentration and had less fruit damaged compared to inland origin plants. Within a habitat differences existed between plants of different origin, pointing to genetic differences in ecologically relevant characters; plants of inland origin grew better in inland and plants of dune origin in dune habitat. At least one population at its home site had the highest fitness, which demonstrates adaptation to local environment.

Keywords: *Arabidopsis thaliana*, Local adaptation, Genetic variation, Glucosinolates.