راهبردهای اصلاح ژنتیکی گردو در ایران

کورش وحدتی*[۱] و سعادت ساریخانی[۲]

[۱] استاد گروه باغبانی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران

[۲] استادیار گروه باغبانی پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران

* نویسنده مسئول: kvahdati@ut.ac.ir

چکیده

گردوی ایرانی (Persian walnut) یکی از مهم‌ترین درختان میوه مناطق معتدله است که در سال‌های اخیر به دلیل ارزش اقتصادی و غذایی بالا، تولید آن در ایران و جهان در حال افزایش است. افزایش تقاضا برای گردو از یک طرف و تنوع اقلیمی و پدیده تغییر اقلیم از طرف دیگر، ضرورت داشتن یک برنامه‌های اصلاحی برای معرفی ارقام و پایه‌های سازگار با اقلیم کشور را افزایش داده است. برنامه اصلاح گردو در ایران با مطالعات عاطفی در سال ۱۳۶۲ در موسسه تحقیقات باغبانی ایران آغاز شد. عملکرد و کیفیت بالا، باردهی جانبی، دیربرگدهی، وزن میوه و مغز بالا، رنگ مغز روشن و زودرسی از مهم‌ترین اهداف اصلاح رقم گردو در ایران می‌باشد. همچنین مقاومت به خشکی و شوری و پاکوتاهی از مهم‌ترین اهداف اصلاح پایه گردو در ایران است. به منظور دستیابی به این اهداف، استراتژی‌های مختلف اصلاحی اعم از اصلاح سنتی (ارزیابی ژرم‌پلاسم و تلاقی هدفمند) و مولکولی (نشانگرهای مولکولی، تولید گیاه هاپلوئید، انتقال ژن، متابولومیکس، توالی‌یابی ژنوم، مطالعات پویش ژنومی و ترنسکریپتومیس) بکار گرفته می‌شود که در این بین نقش بهره‌برداری از تنوع ژنتیکی پررنگ‌تر از سایر استراتژی‌های اصلاحی می‌باشد. برنامه اصلاح گردو در ایران توسط موسسه تحقیقات باغبانی ایران و قطب به‌نژادی، به‌زراعی و فناوری پس از برداشت گردو در حال انجام می‌باشند. برنامه اصلاح گردو در موسسه تحقیقات باغبانی ایران بر پایه بهره‌برداری از تنوع ژنتیکی و تلاقی هدفمند منجر به معرفی ارقام تجاری گردو شامل جمال، دماوند، پرشیا، کاسپین، چالدوران و الوند شده است. همچنین برنامه اصلاح گردو در قطب به‌نژادی، به‌زراعی و فناوری پس از برداشت گردو منجر به دستیابی به ۵۸ ژنوتیپ برتر و امیدبخش از استان‌های مختلف کشور شده است که در مرحله ارزیابی پایداری می‌باشد. به منظور اصلاح پایه‌های مقاوم به خشکی، برنامه هدفمندی بر پایه اصلاح سنتی (بهره‌برداری از تنوع ژنتیکی) و مولکولی توسط قطب به‌نژادی، به‌زراعی و فناوری پس از برداشت گردو با همکاری گروه علوم گیاهی، دانشگاه دیویس کالیفرنیا در حال انجام می‌باشد. با توجه به انجام برنامه‌های هدفمند اصلاح گردو در کشور طی سال‌های اخیر، به‌نظر می‌رسد در آینده نزدیک، شاهد دستاوردهای خوبی در زمینه معرفی ارقام و پایه‌های گردو سازگار با اقلیم کشور و همچنین ارتقاء جایگاه ایران در تجارت جهانی این محصول خواهیم بود.

کلمات کلیدی: تنوع ژنتیکی، اصلاح مولکولی، هیبریداسیون، گردوی ایرانی، ژرم پلاسم، اصلاح پایه

مقدمه

گردوی ایرانی[۱] (*Juglans regia* L.) در بین محصولات باغبانی از اهمیت اقتصادی ویژه‌ای در سطح جهان برخوردار است. به‌طوری‌که از نظر ارزش صادرات و میزان تولید، پس از بادام هندی و بادام، رتبه سوم خشکبار را در جهان داراست (FAO, 2016). همچنین از نظر مصرف‌کنندگان و مصرف، در کشورهای با درآمد بالا پس از بادام در جایگاه دوم قرار دارد. این در حالی است که در کشورهای با درآمد متوسط، در رتبه نخست قرار دارد و بیش از ۲۹ درصد از مصرف خشک‌میوه‌ها در این کشورها به گردوی ایرانی اختصاص دارد (INC, 2018). به‌علاوه از نظر ارزش غذایی، گردو در لیست محصول استراتژیک برای تغذیه انسان قرار دارد (Gandev 2007).

[۱] Persian walnut

IrHC2019

ایران یکی از مراکز اصلی پیدایش و تولید گردوی ایرانی در جهان است (Vahdati et al., 2019). بر اساس آخرین آمار سازمان خواروبار جهانی (FAO) در سال ۲۰۱۷، میزان تولید و سطح زیر کشت گردو در دنیا به‌ترتیب ۳/۸ میلیون تن و ۱/۱ میلیون هکتار است که ایران به ترتیب در جایگاه سوم و پنجم از نظر تولید و سطح زیر کشت گردوی ایرانی قرار دارد (FAO, 2017). با این وجود عوامل متعددی از قبیل هزینه تولید بالا، مصرف داخلی، عدم یکنواختی محصول به دلیل عدم وجود باغ‌های تجاری، عدم و جود ارقام تجاری و سازگار با اقلیم کشور، تنش‌های زیستی و غیرزیستی سبب شده تا ایران نتواند جایگاه واقعی خود را در تجارت جهانی گردو بدست آورد. در همین راستا، گام اول انجام برنامه‌های به‌نژادی هدفمند است که در کنار بهبود مدیریت باغ می‌تواند جایگاه ایران را در تجارت جهانی این محصول ارتقاء دهد.

با توجه به طبیعت تولیدمثلی، تکثیر جنسی طی سالیان متمادی و همچنین تکامل بلندمدت تحت شرایط محیطی پیچیده، تنوع ژنتیکی بالایی در جمعیت گردو بویژه در مراکز پیدایش آن مشاهده می‌شود (Yang, 2005). تنوع ژنتیکی و پراکنش ژرم‌پلاسم در یک گونه، پتانسیل بهبود گونه از طریق برنامه‌های به‌نژادی را فراهم می‌کند (Aradhya *et al.*, 2010). به‌عبارت‌دیگر، تنوع ژنتیکی اساس انجام برنامه‌های به‌نژادی برای بهبود صفات مورد نظر باغداران و امنیت غذایی با توجه به رشد زیاد جمعیت و تغییر اقلیم می‌باشد (Ercisli, 2004; Govindaraj *et al.*, 2015). عمده برنامه‌های به‌نژادی گردو در دنیا نیز بر پایه بهره‌برداری از تنوع ژنتیکی، بویژه تنوع ژنتیکی موجود در مراکز اصلی پیدایش آن بوده است (Vahdati et al., 2019).

مطالعه حاضر به بررسی برنامه اصلاحی گردو در ایران طی گذشته و حال پرداخته و چشم‌انداز این برنامه را برای آینده مشخص می‌نماید. پیش از بررسی گذشته، حال و آینده برنامه به‌نژادی گردو در ایران، اهداف و استراتژی‌های مهم به‌نژادی گردو در دنیا بررسی می‌گردد.

اهداف مهم اصلاح گردو

همواره اهداف خاص اصلاحی یک گونه گیاهی از جمله گردو را چالش‌های پیشرو مشخص می‌نماید. با این وجود، عملکرد و کیفیت بالای محصول، مهم‌ترین هدف اصلی تمام محصولات کشاورزی می‌باشد که گردو نیز از این امر مستثنی نمی‌باشد. صفات اصلاحی باید دارای وراثت‌پذیری بالایی باشند. عملکرد بالا با میوه درشت، باردهی جانبی، عدم ریزش گل ماده، درصد مغز بالا (بالای ۵۰ درصد)، رنگ مغز روشن، سهولت جدا شدن مغز از دانه، ضخامت پوست سخت کم (۱/۵-۱ میلی‌متر) از مهم‌ترین اهداف اصلاحی گردو برای دستیابی به حداکثر عملکرد و کیفیت میوه می‌باشند (Cosmulescu *et al.*, 2010; Botu *et al.*, 2010). از دیگر اهداف مهم اصلاحی گردو می‌توان به مقاومت به آفات و بیماری‌ها و دیربرگدهی اشاره کرد. برخی از صفات اصلاحی گردو نیز بستگی به شرایط آب و هوایی منطقه دارد (Bernard et al., 2018)، به‌عنوان مثال دیربرگدهی و مقاومت به سرمای دیررس بهاره از مهم‌ترین اهداف اصلاحی کشورهای ایران، ترکیه و فرانسه می‌باشد (ساریخانی خرمی و همکاران، ۱۳۹۱؛ Germain, 1990; Akca and Ozongun, 2004; Ebrahimi et al., 2015; Vahdati et al., 2017). این در حالی است که برداشت زودهنگام محصول و معرفی پایه‌های مقاوم به ویروس CLRV از مهم‌ترین اهداف اصلاحی ایالات متحده آمریکا در سال‌های اخیر می‌باشد (Leslie and McGranahan, 2104).

در سال‌های اخیر، پدیده تغییر اقلیم و گرم شدن کره زمین سبب افزایش شدت خشکی، کاهش ساعت سرمای زمستان و افزایش سرمای دیررس بهاره شده است. بر همین اساس، ارقام دیربرگده و مقاوم به سرمای دیررس بهاره، ارقام با نیاز سرمایی کم و پایه‌های مقاوم به تنش‌های غیرزیستی بویژه خشکی و شوری، مقاوم به آفات و بیماری‌ها از جمله اهداف مهم فعلی و آینده در برنامه‌های اصلاحی گردو در ایران و جهان می‌باشند (Vahdati et al., 2019).

IrHC2019

استراتژی‌های اصلاح گردو

به‌نژادی گردو از دیرباز با انتخاب و کاشت بذور درختان برتر از نظر میوه و چوب آغاز گردیده است و طی سالیان متمادی این برنامه‌ها ادامه و منجر به دستیابی به ارقام با عملکرد و کیفیت بالای میوه شده است. به‌عبارت دیگر می‌توان گفت سالیان متمادی استراتژی اصلاح گردو بهره‌برداری از تنوع ژنتیکی موجود در جمعیت گردو بویژه در مراکز پیدایش آن بوده است. طول دوره رشد طولانی، چرخه زایشی دیرهنگام، دشواری گرده‌افشانی کنترل شده، تولید بذور کم در سال‌های اول، از مهم‌ترین محدودیت‌های روش‌های سنتی به‌نژادی گردو به‌شمار می‌روند. با این‌حال، اصلاح سنتی هنوز هم در بیشتر صفات مهم گردو مورد استفاده قرار می‌گیرد و علیرغم وجود روش‌های نوین اصلاحی، بهنژادگران گردو تمایل بسیاری به ارزیابی ژرم‌پلاسم و انجام برنامه‌های دورگ‌گیری هدفمند برای دستیابی به ارقام مطلوب دارند. با توسعه تکنیک‌های بیوتکنولوژی، بهنژادگران گردو در کنار اصلاح سنتی، از روش‌های اصلاح مولکولی برای کاهش چرخه اصلاحی و تسریع روند اصلاح گردو استفاده کردند. از جمله مهم‌ترین این روش‌ها می‌توان به کشت بافت گیاهی، انتقال ژن، نشانگرهای مولکولی، انتخاب به کمک نشانگر (MAS)، GBS، GWAS، توالی‌یابی ژنوم، ترنسکریپتومیکس، پروتئومیکس و متابولومیکس اشاره کرد (Vahdati et al., 2019).

مروری بر اصلاح گردو در جهان

هر چند آغاز اصلاح گردو را می‌توان از انتخاب درختان برتر توسط باغداران و کشت بذور آن‌ها دانست، اما اولین برنامه اصلاحی مدون گردو با توسعه روش‌های پیوند گردو در کشور فرانسه آغاز گردید که منجر به معرفی ارقامی از قبیل Franquette، Mayette، Crone، Grandjean و Parisienne گردید (Bernard et al., 2018). به‌طور کلی برنامه اصلاح گردو در دنیا را می‌توان در چهار فاز و بازه زمانی (۱۹۴۸-۱۷۰۰، ۱۹۷۹-۱۹۴۸، ۲۰۰۹-۱۹۷۹ و ۲۰۰۹ تاکنون تقسیم بندی کرد (Vahdati et al., 2019). پس از کشور فرانسه، برنامه اصلاحی گردو در آمریکا در فاز اول در دانشگاه کالیفرنیا- دیویس (University of California-Davis) با معرفی ارقام فرانسوی بویژه رقم فرانکت و همچنین کاشت بذور برخی ژنوتیپ‌های برتر جمع‌آوری شده از کشورهایی نظیر ایران و افغانستان آغاز گردید که منجر به معرفی ارقامی از قبیل Eureka، Waterloo، Poe، Hartley و Payne شد. رقم پاین به دلیل عادت باردهی جانبی اجداد بسیاری از ارقام فعلی آمریکا می‌باشد (Ramos 1997; Tulecke and McGranahan 1994).

فاز دوم برنامه اصلاح گردو در دنیا (۱۹۷۹-۱۹۴۸) نیز محدود به کشورهای آمریکا و فرانسه می‌شد. در این فاز، علاوه بر بهره‌برداری از تنوع ژنتیکی، انجام تلاقی‌های هدفمند از مهم‌ترین استراتژی‌های اصلاح گردو بود. برنامه اصلاح گردو آمریکا در این دوره توسط Eugene F. Serr و Harold I. Forde مدیریت می‌شد که منجر به معرفی ۱۳ رقم گردید. مهم‌ترین ارقام حال حاضر دنیا یعنی Chandler، Serr و Howard در این دوره معرفی گردیدند. در حال حاضر، ارقام Chandler و Serr به‌ترتیب ۷۵ و ۱۲ درصد از باغ‌های گردو کالیفرنیا، به عنوان دومین تولید کننده بزرگ گردو دنیا را تشکیل می‌دهند (Tulecke and McGranahan 1994; Vahdati et al. 2019). برنامه اصلاح گردو فرانسه نیز توسط Eric Germain در این دوره ادامه پیدا کرد که دیربرگدهی و باردهی جانبی از جمله مهم‌ترین اهداف اصلاحی گردوی فرانسه در این دوره بود و منجر به معرفی رقم تجاری Fernor گردید (Germain 1997; Bernard et al., 2018).

فاز سوم برنامه اصلاح گردو در دنیا مربوط به سال‌های ۲۰۰۹-۱۹۷۹ بود. از مهم‌ترین مشخصات این دوره، آغاز برنامه اصلاح گردو در سایر کشورها بویژه ایران، چین و ترکیه بود. به‌علاوه در فاز سوم و چهارم اصلاح گردو در دنیا، علاوه بر بهره‌برداری از تنوع ژنتیکی، تلاقی هدفمند، شاهد استفاده از اصلاح مولکولی برای کاهش چرخه اصلاحی گردو و دستیابی به ارقام و پایه‌های تجاری هستیم. فاز سوم و چهارم اصلاح گردو در آمریکا به ترتیب توسط Gale McGranahan و Charles A. Leslie مدیریت شد. علاوه بر صفات فوق‌الذکر، برداشت زودهنگام از مهم‌ترین اهداف فاز سوم و چهارم برنامه اصلاحی گردو در آمریکا بود. در قالب این دو فاز، ارقام بسیاری زیادی توسط دانشگاه کالیفرنیا- دیویس معرفی

IrHC2019

گردید که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به ارقام Sexton، Gillet، Forde، Ivanhoe، Solano و Durham اشاره کرد که سه رقم اخیر زودتر از رقم تجاری Chandler برداشت می‌شوند (Vahdati et al., 2019). همچنین در فاز چهارم برنامه اصلاح گردو در آمریکا برای نخستین بار ژنوم گردو رقم Chandler توسط مرکز ژنوم دانشگاه دیویس کالیفرنیا (UC Davis Genome Center) توالی‌یابی شد (Martinez-Garcia et al., 2016).

فاز سوم و چهارم برنامه اصلاح گردو فرانسه نیز به ترتیب تحت نظر Eric Germain و Fabric Lheureux بر پایه بهره‌برداری از تنوع ژنتیکی و تلاقی هدفمند ادامه پیدا کرد که منجر به معرفی چهار رقم Feradam، Ferbel، Ferouette و Fertignac شد (Bernard et al., 2018). در این دوره، برنامه اصلاح گردو در سایر کشورها از جمله ایران، ترکیه و چین آغاز شد که استراتژی اصلی اصلاح گردو در این کشورها، بهره‌برداری از تنوع ژنتیکی و تلاقی هدفمند بود (Vahdati et al., 2019).

علاوه بر اصلاح برای دستیابی به ارقام تجاری، برنامه اصلاح گردو برای معرفی پایه‌های تجاری نیز طی سال‌های اخیر در کشورهای مختلف دنیا انجام گرفته است که از مهم‌ترین این برنامه‌های اصلاحی می‌توان به برنامه اصلاحی پایه گردو در کشور آمریکا برای معرفی پایه‌های سازگار با گردوی ایرانی و مقاوم به بیماری به‌ویژه بیماری‌های خط سیاه (CLRV)، آرمیلاریا، فیتوفترا و نماتد اشاره کرد که این برنامه منجر به معرفی پایه‌های تجاری از قبیل Paradox، Vlach، RX1 و VX211 شده است (Leslie and McGranahan 2014).

برنامه اصلاح گردو در ایران

ایران یکی از مراکز اصلی تنوع گردو در دنیا به‌شمار می‌رود؛ لذا سالیان سال باغداران بدون اطلاع از اصول اصلاح گیاهان، با انتخاب درختان برتر و کاشت بذور آن‌ها نسبت به اصلاح گردو اقدام نموده‌اند. اصطلاحاتی نظیر گردوی کلاغ‌کار، گردوی کاغذی، گردوی سنگی، گردوی ماکویی، گردوی سوزنی، گردوی ضیا آبادی، گردوی آذربایجان، گردوی تویسرکان، گردوی خوشه‌ای و گردوی گلابی نشان دهنده آن است که باغداران با انتخاب درختان برتر و کاشت بذور آن‌ها نسبت به سلکسیون ژنوتیپهای برتر اقدام می‌کردند (Vahdati et al., 2014).

اولین برنامه مدون اصلاح گردو در ایران، توسط عاطفی (Atefi, 1993) در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر صورت گرفت. در این برنامه هشت رقم تجاری خارجی (Lara، Serr، Pedro، Hartley، Chandler، Rond de Montignac، Vina و Franquette) و هفت ژنوتیپ برتر گردو (K72, Z63, Z30, Z60, Z67, Z53, B21) که از بین ۲۵۰ ژنوتیپ برتر انتخاب شده بودند، مورد ارزیابی قرار گرفتند. ایشان گزارش کردند که در بین ارقام و ژنوتیپ‌های موردمطالعه، Serr و Vina به شدت به سرمای زمستانه حساس هستند، در حالی که ارقام و ژنوتیپ‌های Chandler ، Pedro ، Z63، Z53 و Z30 به سرمای زمستانه مقاومت نشان دادند. ژنوتیپ Z60 دارای بیشترین میزان مقاومت بود. همچنین در بین ژنوتیپ‌های موردمطالعه Z53 زود برگده‌ترین ژنوتیپ بود. در حالی که ژنوتیپ‌های Z67، Z69، K72 و B21 به همراه رقم Serr در گروهی قرار گرفتند که اواسط فصل برگدهی، جوانه برگ آن‌ها باز می‌شد. ژنوتیپ‌های Z53 و Z60 با وزن میوه ۱۹/۴ و ۱۷/۵ گرم دارای بزرگ‌ترین میوه بودند (Atefi, 2001). خوشبختانه این طرح توسط پژوهشکده میوه‌های سردسیری و معتدله، موسسه تحقیقات باغبانی ایران زیر نظر حسنی ادامه پیدا کرد و همزمان با پایان بررسی‌ها در سال ۱۳۸۸، دو رقم جدید جمال (Z63) و دماوند (Z30) (به‌عنوان گرده دهنده جمال) در سال ۱۳۹۱، به‌عنوان اولین ارقام گردو در ایران معرفی شدند (حسنی و همکاران، ۱۳۹۱ الف، ب). همچنین ارزیابی تکمیلی ژرم‌پلاسم گردو در کشور توسط موسسه تحقیقات باغبانی کشور توسط حسنی و همکاران ادامه پیدا کرد که منجر به معرفی ۴ رقم تجاری گردو (پرشیا، کاسپین، چالدوران و الوند) گردید که در بین این ارقام، دو رقم پرشیا و کاسپین جزو ارقام دیربرگده گردوی ایرانی به‌شمار می‌روند (Vahdati et al., 2019).

علاوه بر مطالعات صورت گرفته توسط موسسه تحقیقات باغبانی کشور، ارزیابی ژرم‌پلاسم گردو توسط سایر محققین در بخش‌های مختلف کشور انجام گرفته است (رضایی و همکاران، ۱۳۸۷؛ ساریخانی خرمی و همکارن، ۱۳۹۲؛ حق‌جویان

IrHC2019

و همکاران، ۱۳۸۴؛ سعادت و زندی، ۱۳۸۰؛ Arzani *et al.*, 2008; Ehteshamnia et al., 2009; Ebrahimi *et al.*, 2009; Karimi *et al.*, 2010; Ebrahimi et al., 2015; Khorami et al., 2018; Shamlu et al., 2018; Khadivi et al., 2019). در این مطالعات، استان‌های مختلف کشور ازجمله کرمان، تهران، آذربایجان شرقی و غربی، همدان، سمنان، البرز، فارس، خراسان، چهارمحال و بختیاری، کهکیلویه و بویراحمد، یزد، کردستان، ایلام و کرمانشاه مورد بررسی قرار گرفتند که منجر به معرفی ژنوتیپ‌های برتر و امیدبخش گردو شده است که می‌تواند در برنامه‌های اصلاحی بعدی مورد استفاده قرار گیرند.

صرف نظر از مطالعاتی که روی ژرم‌پلاسم گردو در بخش‌های مختلف کشور توسط محققین مختلف انجام می‌گیرد، در حال حاضر برنامه مدون اصلاح گردو در ایران توسط دو بخش، موسسه تحقیقات باغبانی ایران زیر نظر داراب حسنی و قطب به‌نژادی، به‌زراعی و فناوری پس از برداشت گردو (پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران) زیر نظر کورش وحدتی انجام می‌گیرد. برنامه اصلاح گردو در موسسه تحقیقات باغبانی ایران بر پایه بهره‌برداری از تنوع ژنتیکی، انجام تلاقی هدفمند بین ژنوتیپ‌های برتر شناسایی شده و ارقام تجاری و همچنین وارد کردن و معرفی ارقام تجاری خارجی می‌باشد. دستیابی به ارقام تجاری با عملکرد بالا، باردهی جانبی، کیفیت بالا و دیربرگدهی از جمله مهم‌ترین اهداف اصلاحی گردو در این برنامه اصلاحی می‌باشد. علاوه بر اصلاح برای رقم، مطالعاتی در زمینه دستیابی به پایه‌های رویشی گردو در موسسه تحقیقات باغبانی در حال انجام است که در مراحل اولیه قرار دارد و تلاقی‌های بین گردوی ایرانی و گردوی سیاه برای دستیابی به پایه‌های رویشی پررشد، مقاوم به CLRV، متحمل به آهک خاک و تنش خشکی صورت گرفته است.

برنامه اصلاح گردو در قطب به‌نژادی، به‌زراعی و فناوری پس از برداشت گردو به دو بخش اصلاح رقم و اصلاح پایه گردو تقسیم می‌شود. در بحث اصلاح رقم، مطالعاتی بر پایه ارزیابی ژرم‌پلاسم گردو در ایران بویژه در استان‌های فارس، کرمان، کهکیلویه و بویراحمد، چهارمحال و بختیاری، یزد، البرز، مازندران، تهران، همدان و ایلام و همچنین تلاقی هدفمند، انجام گرفته است که منجر به دستیابی ۵۸ ژنوتیپ برتر و امیدبخش شده است که در مرحله ارزیابی پایداری می‌باشند. دیربرگدهی، نیاز سرمایی کم، عادت باردهی جانبی، رنگ مغز روشن، درصد مغز بالا، میوه درشت در کنار عملکرد و کیفیت بالا از جمله مهم‌ترین اهداف اصلاحی برای دستیابی به ارقام تجاری گردو در این برنامه می‌باشد (وحدتی و ساریخانی، ۱۳۹۸؛ Ehteshamnia et al., 2009; Karimi et al., 2010; Vahdati et al., 2015; Hajinia et al., 2019). مقاومت به تنش خشکی و شوری و همچنین پایه‌های پاکوتاه (Rezaei et al., 2006; Rezaee et al., 2009; Vahdati and Mohseniazar, 2015) از مهم‌ترین اهداف اصلاح پایه در برنامه اصلاحی قطب به‌نژادی، به‌زراعی و فناوری پس از برداشت گردو می‌باشد. به منظور اصلاح پایه‌های مقاوم به خشکی، برنامه هدفمندی بر پایه اصلاح سنتی (بهره‌برداری از تنوع ژنتیکی) و مولکولی (نشانگرهای مولکولی) (Ehteshamnia et al., 2009; Nematollahi et al., 2009; Mohsenipoor et al., 2009; Karimi et al., 2010; Nematollahi et al., 2013; Vahdati et al., 2015)، تولید گیاه هاپلوئید و انتقال ژن (نظری و همکاران، ۱۳۹۲؛ Sadat Hosseini Grouh et al., 2011; Sheikh Beig Goharrizi et al. 2016; Vahdati et al., 2002)، متابولومیکس، توالی‌یابی ژنوم، مطالعات پویش ژنومی و ترنسکریپتومیس (Arab et al., 2019; Sadat-Hosseini et al., 2019) با همکاری گروه علوم گیاهی، دانشگاه دیویس کالیفرنیا در حال انجام می‌باشد (Vahdati et al., 2019).

نتیجه گیری کلی و چشم انداز اصلاح گردو در ایران

ارزش اقتصادی و غذایی بالای گردو از یک طرف، معرفی ارقام تجاری و بهبود مدیریت باغ سبب شده تا در سال‌های اخیر تقاضا برای تولید گردو در ایران مانند سایر کشورهای پیشرو دنیا افزایش یابد. خوشبختانه برنامه اصلاحی مدون در گردو در کشور از سال ۱۳۶۲ آغاز شده و در حال انجام است که علاوه بر معرفی چند رقم تجاری، نوید دستاوردهای خوبی در آینده نزدیک در زمینه رقم و پایه گردو سازگار با اقلیم کشور می‌دهد. عملکرد و کیفیت بالا، باردهی جانبی، دیربرگدهی، وزن میوه و مغز و درصد مغز بالا، رنگ مغز روشن، سهولت جداشدن مغز از پوست سخت و زودرسی از مهم‌ترین اهداف اصلاح رقم گردو در ایران می‌باشد. تحمل بالا به کم آبی، شوری، آهک بالای خاک، مقاومت به بیماری‌های

IrHC2019

خاکزی و پاکوتاهی از جمله مهم‌ترین اهداف اصلاح پایه گردو در ایران می‌باشد. به منظور دستیابی به این اهداف، استراتژی‌های مختلف اصلاحی اعم از اصلاح سنتی و مولکولی در کشور بکار گرفته می‌شود که در این بین نقش بهره‌برداری از تنوع ژنتیکی پررنگ‌تر از سایر استراتژی‌های اصلاحی بوده و گام اول هر برنامه اصلاحی گردو در کشور می‌باشد. با توجه به پدیده تغییر اقلیم و گرم شدن کره زمین، به‌نظر می‌رسد که علاوه بر عملکرد و کیفیت بالای محصول گردو، دیربرگدهی، نیاز سرمایی پایین و مقاومت به خشکی و شوری از مهم‌ترین اهداف اصلاحی گردو در حال حاضر و آینده خواهد بود. در این راستا، موارد زیر از مهم‌ترین چشم انداز اصلاح گردو در ایران خواهد بود:

- ادامه ارزیابی ژرم‌پلاسم گردو کشور به منظور دستیابی به ارقام دیربرگده و مقاوم به سرمای دیررس بهاره، ارقام با نیاز سرمایی کم و پایه‌های متحمل به تنش خشکی و شوری
- انجام تلاقی‌های هدفمند بین ژنوتیپ‌های برتر شناسایی شده با ارقام تجاری و استفاده از نشانگرهای مولکولی برای انتخاب صفات مطلوب
- استفاده از سیستم های CRISPR-Cas9 برای ویرایش هدفمند ژنوم گردو
- استفاده از تکنیک‌های جدید اصلاح مولکولی از قبیل GWAS در کنار فنوتایپینگ با کارآیی بالا (high-throughput phenotyping) برای شناسایی ژن‌های دخیل در کنترل صفات مهم گردو

منتخبی از منابع

Arab, M.M., Marrano, A., Abdollahi-Arpanahi, R., Leslie, C.A., Askari, H., Neale, D.B. and Vahdati, K., 2019. Genome-wide patterns of population structure and association mapping of nut-related traits in Persian walnut populations from Iran using the Axiom *J. regia* 700K SNP array. Scientific Reports; 9(1), p.6376.

Atefi, J. 1990. Preliminary research of Persian walnut and correlation between pair characters. Acta Horticulturae; 284: 97–104.

Bernard, A., Lheureux, F., Dirlewanger, E. 2018. Walnut: past and future of genetic improvement. Tree Genetic and Genomes; 14 (1):1–28.

Ebrahimi, A., Khadivi-Khub, A., Nosrati, Z., & Karimi, R. 2015. Identification of superior walnut (*Juglans regia*) genotypes with late leafing and high kernel quality in Iran. Scientia Horticulturae; 193: 195-201.

Germain, E. 1997. Genetic improvement of the Persian walnut (*Juglans regia* L.). Acta Horticulturae; 442:21–32

Khorami, S. S., Arzani, K., Karimzadeh, G., Shojaeiyan, A., & Ligterink, W. (2018). Genome size: A novel predictor of nut weight and nut size of walnut trees. HortScience, 53(3), 275-282.

Martínez-García, P. J., Crepeau, M. W., Puiu, D., Gonzalez-Ibeas, D., Whalen, J., Stevens, K. A., and Chakraborty, S. (2016). The walnut (*Juglans regia*) genome sequence reveals diversity in genes coding for the biosynthesis of non-structural polyphenols. The Plant Journal, 87(5), 507-532.

Mohsenipoor, S., Vahdati, K., Amiri, R. and Mozaffari, M.R. 2010. Study of the genetic structure and gene flow in Persian walnut (*Juglans regia* L.) using SSR markers. Acta Horticulturae; 861: 133–142.

Ramos, D.E. 1997 Walnut production manual (Vol. 3373). UCANR Publications, 320 p

Sadat Hosseini Grouh, M., Vahdati, K., Lotfi M., Hassani, D. and Biranvand, N.P. 2011. Production of haploids in Persian walnut through parthenogenesis induced by gamma–irradiated pollen. Journal of the American Society for Horticultural Science; 136(3): 198–204.

Sheikh Beig Goharrizi, MA., Dejahang, A., Tohidfar, M., Izadi Darbandi, A., Carillo, N., Hajirezaei, M.R. and Vahdati K. 2016. Agrobacterium mediated transformation of somatic embryos of Persian walnut using *fld* gene for osmotic stress tolerance. Journal of Agricultural Science and Technology; 18: 423–435.

Tulecke, W. and McGranahan, G. 1994. The Walnut Germplasm Collection of the University of California, Davis. A Description of the Collection and a History of the Breeding Program of Eugene F Serr and Harold I Forde. Report No. 13. University of California Genetic Resources Conservation Program, Davis, CA.

Vahdati, K. and Mohseniazar, M. 2016. Early bearing genotypes of walnut: a suitable material for breeding and high–density orchards. Acta Horticulturae; 1139 (2):101–106

IrHC2019

Vahdati, K. and Rezaee, R. 2014. Behavior of some early mature and dwarf persian walnut trees in Iran. Acta Horticulturae; 1050:189–196.

Vahdati, K., Arab, M.M., Sarikhani Khorami, S., Sadat Hosseini, M., Leslie, C.A. and Brown, P.J. 2019. Advances in walnut (*Juglans regia* L.) breeding strategies, Chapter 13. In: JM Al-Khayri, SM Jain and DV Johnson (eds.) Advances in plant breeding strategies, Vol 4. Nut and Beverage Crops. Springer, Switzerland.

Vahdati, K., Hassani, D., Rezaee, R., Sayedi, M.J. and Khorami, S.S. 2014. Following walnut footprints (*Juglans regia* L.) cultivation and culture, folklore and history, traditions and uses; In: Walnut footprint in Iran. International Society for Horticultural Science (ISHS) 17:187–201

Vahdati, K., Pourtaklu, S.M., Karimi, R., Barzehkar, R., Amiri, R., Mozaffari, M. and Woeste, K., 2015. Genetic diversity and gene flow of some Persian walnut populations in southeast of Iran revealed by SSR markers. Plant systematics and evolution, 301(2), pp.691-699.

Strategies of Persian walnut breeding in Iran

Kourosh Vahdati*, Saadat Sarikhani
Department of Horticulture, Aburaihan Campus, University of Tehran, Iran
**Corresponding Author: kvadati@ut.ac.ir*

Abstract

Persian walnut is one of the most important temperate fruit trees. Due to high economic and nutritional value, its production in Iran and the world is increasing in recent years. According to high demand for walnut production, high climate diversity in Iran and climate change, it is important to have a walnut breeding program to introduce the country climate compatible cultivars and rootstocks. The walnut breeding program in Iran, initially led by Jamal Atefi at Horticulture Science Research Institute (HSRI) in 1983. High yield and quality, lateral bearing, late-leafing, heavy nut and kernel, light kernel color, early harvest are the most important walnut breeding objectives in Iran. Also, tolerance to drought and salinity stress and dwarfness are the most important walnut rootstock breeding objectives. Different breeding strategies including traditional (germplasm evaluation and targeted cross-breeding) and molecular strategy (molecular markers, haploid plant production and gene transfer, metabolomics, genome sequencing, GWAS, GBS and transcriptomics studies) used to achieve the above-mentioned objectives. The walnut breeding in Iran was conducted by HSRI and Center of Excellence in Walnut Improvement and Technology (CEWIT). Walnut breeding program at HSRI based on exploitation of genetic diversity and targeted hybridization has led to the introduction of six walnut commercial cultivars including Jamal, Damavand, Persia, Caspian, Chaldoran and Alvand. Walnut breeding program at CEWIT has also resulted in 58 promising and promising genotypes from different provinces of Iran which are in the stability assessment stage. To release drought-tolerant rootstocks, a targeted breeding program based on traditional and molecular breeding are ongoing by CEWIT in collaboration with University of California, Davis. In general, due to the targeted walnut breeding programs in recent years, it seems that Iran's position in the worldwide walnut trade will be increased in the near future,

***Keywords*:** *Genetic diversity, Germplasm, Hybridization, Molecular breeding, Persian walnut, Rootstock breeding*

IrHC2019