

Research Article

Inheritance of Russian wheat aphid resistance in two Iranian bread wheat cultivars 'Falat' and 'Azadi'

Tohid Salehi ^{1*}, Tohid Najafi Mirak ², Mohammad Reza Bihamta ³, Islam Majidi Heravan ¹

¹ Department of Agronomy and Plant Breeding, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

² Department of Cereal Research, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization, Karaj, Iran

³ Department of Agronomy and Plant Breeding, Campus and Schools of Tehran University, Karaj, Iran

Key Words

Inheritance
Leaf chlorosis
Leaf curling
Resistance
Russian wheat aphid
Wheat

Abstract

Introduction: The Russian wheat aphid (RWA), *Diuraphis noxia* (Mordvilko), is a major pest of cereal crops in many countries of the world, causing serious reduction in grain yield in wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.). Incorporating genetic resistance to *D. noxia* into wheat cultivars is paramount to effectively reduce damage inflicted by this pest. The availability of more resistance genes to RWA may provide additional protection from new virulent strains or biotypes of the insect. Genetic resistance to *D. noxia* has been identified in wheat, barley and rye germplasm and several resistance genes are available for use in cultivar improvement.

Materials & Methods: In order to determine the inheritance of RWA resistance, two resistant Iranian bread wheat cultivar 'Falat' and 'Azadi' have crossed with the susceptible cultivar 'Pishtaz'. For each cross, the F₁, F₂, F₃ (in the case of Azadi×Pishtaz cross) and backcross (BCR and BCS) generations were produced. These generations therewith resistant and susceptible parents were cultured in the green-house conditions and were infected with RWA. Twenty-one days after infection, damages caused by aphid feeding were measured based on the leaf curling and leaf chlorosis of resistant and susceptible types following insect challenge. The resistance inheritance was considered by using Mendelian ratios in the F₂, F₃ and backcross generations.

Results: The obtained results were determined that both of studied traits, the leaf curling and leaf chlorosis, in 'Azadi' and 'Falat' cultivars are controlled by one dominant major gene and recessive major gene, respectively.

Conclusion: Since the both components of resistance are controlled with a major gene, using of hybridization and selection along different generations may be constructive in transfer of resistance to the intended cultivars.

Article info

* Corresponding Author's email:
salehi.tohid@gmail.com,
t.salehi@qaemiau.ac.ir

Received: 22 October 2024

Reviewed: 22 November 2024

Revised: 23 January 2025

Accepted: 32 February 2025

مقاله علمی - پژوهشی

بررسی توارث مقاومت به شته روسی گندم (*Diuraphis noxia* (Mordvilko)) در دو رقم زراعی گندم نان فلات و آزادی

توحید صالحی^{۱*}، توحید نجفی‌میرک^۲، محمدرضا بی‌همتا^۳، اسلام مجیدی‌هروان^۱

^۱ گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۲ بخش تحقیقات غلات، موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

^۳ گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

چکیده

کلمات کلیدی

پیچیدگی برگ
توارث
شته روسی گندم
کلروز برگ
گندم
مقاومت

مقدمه: شته روسی گندم (*Diuraphis noxia* (Modvilko)) یکی از آفات مهم غلات در بسیاری از کشورهای جهان، موجب کاهش عملکرد دانه شدیدی در گندم (*Triticum aestivum* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) می‌شود. یکی از مهم‌ترین روش‌های کنترل خسارت این آفت بهره‌گیری از ارقام مقاوم می‌باشد. شناسایی ژن‌های جدید مقاومت به شته روسی گندم محافظت بیش‌تری را در مقابل بیوتیپ‌ها یا نسل‌های بیماری‌زای جدید حشره ممکن است فراهم نماید. مقاومت ژنتیکی به شته روسی گندم در گنجینه وراثتی گندم، جو و چاودار شناسایی شده است و چندین ژن مقاومت برای به‌نژادی ارقام زراعی در دسترس می‌باشد.

مواد و روش‌ها: به منظور بررسی توارث مقاومت به شته روسی گندم، دو رقم گندم مقاوم فلات و آزادی با رقم حساس پیش‌تاز تلاقی داده شدند. برای هر تلاقی جمعیت‌های F1، F2، F3 (در مورد تلاقی ارقام آزادی و پیش‌تاز) و بک کراس‌ها به‌دست آمدند. این نسل‌ها به همراه والدین مقاوم و حساس در شرایط گلخانه کاشته و در مرحله گیاهچه ای با شته روسی آلوده شدند. بیست و یک روز پس از آلوده‌سازی، خسارت ناشی از تغذیه شته به روش کیفی و بر اساس میزان پیچیدگی و کلروز برگ‌ها اندازه‌گیری شد. نحوه توارث مقاومت با استفاده از نسبت‌های مندلی در نسل‌های F1، F2، F3 و بک کراس‌ها مورد مطالعه قرار گرفت.

نتایج: نتایج حاصل از روش مندلی نشان داد که هر دو صفت میزان پیچیدگی و کلروز برگ ارقام آزادی و فلات به‌ترتیب با یک ژن اصلی غالب و مغلوب کنترل می‌شود.

بحث و نتیجه‌گیری: از آنجایی که هر دو جزء مقاومت با یک ژن اصلی کنترل می‌شود، استفاده از دو رگ‌گیری و گزینش در طول نسل‌های مختلف می‌تواند در انتقال مقاومت به ارقام مورد نظر راهگشا باشد.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

salehi.tohid@gmail.com,
t.salehi@qaemiau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱ آبان ۱۴۰۳

تاریخ داوری: ۲ آذر ۱۴۰۳

تاریخ اصلاح: ۴ بهمن ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۵ اسفند ۱۴۰۳

مقدمه

یکی از مهم ترین عوامل کاهش عملکرد گندم آفات است، به طوری که بشر سالانه میلیون ها دلار خسارت آفت، به خصوص حشرات را تحمل می کند. در این میان شته روسی گندم علاوه بر تغذیه مستقیم از گیاه با انتقال عوامل بیماری زای گیاهی باعث ایجاد خسارت زیادی شده و یکی از مهم ترین عوامل کاهش عملکرد گندم است (۱۰، ۲۲). غربال ژنوتیپ های گندم برای مقاومت به شته روسی در شرایط اتافک رشد، گلخانه و یا مزرعه انجام می گیرد. Miller و همکاران، روش غربال ساده آزمایشگاهی (شرایط اتافک رشد) را بسیار منطقی توصیف کرده و آن را با ارزیابی مزرعه ای منطبق دانسته است (۱۵). به طور کلی، مطالعات ژنتیکی مقاومت به شته روسی گندم نشان می دهد که استفاده از ارقام مقاوم به دلیل اهمیت اقتصادی، داشتن قابلیت تلفیق بهتر با سایر روش های کنترل و نداشتن آثار تخریبی در محیط زیست، روشی بسیار موثر در حفظ محصول از خسارت این آفت است (۱۶، ۲۸). اولین منابع مقاومت به شته روسی در گندم های منشأ گرفته از کشورهای شوروی سابق، ناحیه بالکان، ایران، ترکیه و مناطقی از خاورمیانه که این آفت بومی آن هاست، شناسایی شدند (۱۷). نخستین بار در آفریقای جنوبی مقاومت به شته روسی توسط Butts و Pakendorf در *Triticum monococcum* (۴) و توسط Du Toit و Van Niekerk در *Triticum turgidum* var. *durum* (۷) شناسایی شد. بررسی های ژنتیکی در مورد مقاومت به شته روسی در گندم نشان می دهد که این مقاومت توارث پذیری ساده ای داشته و به صورت کیفی کنترل می شود (۳). حداقل ده ژن شناخته شده برای مقاومت به شته روسی گندم وجود دارد که در نمونه های ژرم پلاسما گندم، گونه های خویشاوند آن و چاودار یافت شده اند (۱۱، ۱۲، ۲۸، ۲۹). ژن های غالب مقاومت به شته روسی که در نمونه های ژرم پلاسما گندم شناسایی شده اند شامل Dn1، Dn2، Dn4، Dn5، Dn6، Dn8، Dn9 و DnX می باشد. Du Toit، وجود ژن Dn1 را در گندم PI 137739 و ژن Dn2 را در گندم PI 262660 گزارش کرد (۶). Nkongolo و همکاران، ژن Dn4 را در PI 372129 کشف کردند (۲۰). Marais و Du Toit وجود ژن Dn5 را در PI 294994 گزارش کردند (۱۳) که البته در ابتدا تصور می شد PI 294994 فقط شامل همین ژن غالب است ولی مطالعات بعدی حاکی از وجود بیش از یک ژن در آن بود. Saidi و Quick، ژن Dn6 را به عنوان ژن کنترل کننده مقاومت در PI 243781 شناسایی کردند (۲۴). ژن های Dn8 و Dn9 در PI 294994 و ژن DnX در PI 220127 توسط Liu و همکاران کشف شدند (۱۲). ژن های مقاومت به شته روسی در گونه های خویشاوند گندم نیز شناسایی شدند. ژن مغلوب dn3 در لاین SQ24 از *Aegilops tauschii*

توسط Nkongolo و همکاران شناسایی شد (۲۰). در آزمایش Zhang و همکاران، معلوم شد مقاومت در گندم PI 225262 توسط دو ژن غالب کنترل می شود (۳۱). مطالعه Baker و همکاران، دلالت بر این داشت که مقاومت در رقم گندم Stars-225217 توسط یک ژن غالب کنترل می شود (۳). Dong و همکاران، گزارش دادند که مقاومت در PI 222668 که یک گندم زمستانه بومی آذربایجان شرقی می باشد، توسط یک ژن غالب یا یک ژن غالب و یک ژن مغلوب کنترل می شود (۵). Baker و Ehdai، گزارش دادند که مقاومت در لاین گندم بهاره ایرانی G5864 با دو ژن غالب مستقل از هم و با اثرات افزایشی کنترل می شود (۸). Dorri و Assad، مقاومت به شته روسی را در دو لاین گندم ایرانی بررسی کرده و نشان دادند که مقاومت براساس میزان کلروز برگ در هر دو لاین Shz.W-104 و Shz.W-102 توسط دو ژن غالب کنترل می شود (۲). Assad، یک ژن مقاومت را در لاین ۱۸۸ گندم دوروم شناسایی کرد که مقاومت را به صورت غالب کنترل می کرد (۱). Najafi-Mirak و همکاران، با استفاده از تلاقی ارقام مقاوم امید و آزادی با رقم حساس شعله گزارش کردند که هر دو صفت میزان کلروز و پیچیدگی برگ در دو رقم آزادی و امید به ترتیب با یک و دو ژن اصلی کنترل می شوند و تعدادی ژن فرعی نیز در کنترل آن ها نقش دارند و بین ژن های کنترل کننده پیچیدگی برگ در دو رقم مقاوم آزادی و امید رابطه آلی وجود ندارد (۱۶). ایجاد ارقام مقاوم در برنامه های به نژادی مستلزم داشتن اطلاعات کافی در مورد نحوه توارث مقاومت می باشد (۱۴، ۲۱). در همین راستا این مطالعه با هدف تعیین توارث مقاومت به شته روسی در دو رقم گندم نان زمستانه ایرانی فلات و آزادی که در مطالعات قبلی به عنوان ارقام مقاوم شناخته شده اند (۱۶، ۱۷، ۲۵)، طراحی و اجرا شد.

مواد و روش ها

به منظور بررسی توارث مقاومت به شته روسی گندم، دو رقم گندم نان زمستانه ایرانی فلات و آزادی که قبلاً توسط Najafi-Mirak و همکاران (۱۶)، Shekariyan (۲۵) و Nematollahi (۱۷) به عنوان ارقام مقاوم به شته روسی گندم معرفی شده بودند با رقم حساس پیشواز تلاقی داده شدند. در سال زراعی بعد برای هر تلاقی از خودگرده افشانی گیاهان F1، جمعیت های F2 و از تلاقی گیاهان F1 با والدین مقاوم و حساس به ترتیب جمعیت های BCR (Backcross to resistant parent) و BCS (Backcross to susceptible parent) تولید گردیدند. در مورد تلاقی ارقام آزادی و پیشواز نسل F3 نیز تولید گردید. والدین و نسل های F1، F2، F3، BCR و BCS حاصل از هر تلاقی در آزمایش های جداگانه تحت شرایط گلخانه با دمای $25 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ، رطوبت نسبی ۵۰-۴۰

شده توافق نشان داده‌اند و یا به عبارت ساده‌تر آماره χ^2 مربوط به آن‌ها معنی‌دار نشده است. ۲۱ روز پس از رهاسازی شته‌ها روی گیاهچه‌ها، ارقام مقاوم فلات و آزادی پیچیدگی برگ نشان نداده و یا پیچیدگی خیلی کمی نشان دادند، درحالی‌که تمام گیاهچه‌های رقم حساس پیش‌تاز پیچیدگی شدیدی نشان دادند. تمام گیاهچه‌های F1 حاصل از تلاقی آزادی و پیش‌تاز و نیز تمام گیاهچه‌های BCR مقاوم بودند که این امر غالب بودن مقاومت در رقم آزادی را نشان می‌دهد. نسبت تفکیک $1R:1S$ در نسل BCS مشتق شده از این تلاقی نیز بیانگر غالب بودن مقاومت در رقم آزادی می‌باشد. جمعیت‌های F2 و F3 حاصل از این تلاقی نیز به ترتیب به نسبت‌های $3R:1S$ و $5R:3S$ تفکیک یافتند. این نسبت‌ها نشان می‌دهد که مقاومت در رقم آزادی با یک ژن غالب کنترل می‌شود (جدول ۱). حساس بودن تمام گیاهچه‌های F1 حاصل از تلاقی ارقام فلات و پیش‌تاز و تفکیک افراد جمعیت F2 مشتق شده از تلاقی آن‌ها با نسبت ژنتیکی $1R:3S$ بیانگر این است که مقاومت به پیچیدگی برگ در رقم فلات با یک ژن مغلوب کنترل می‌شود. نسبت تفکیک گروه‌های حساس و مقاوم در جمعیت‌های BCS ($0R:1S$) و BCR ($1R:1S$) این تلاقی نیز مغلوب بودن ژن کنترل‌کننده مقاومت در رقم فلات را تایید می‌نماید (جدول ۱). جدول ۲ نسبت تفکیک نسل‌های مختلف هر دو تلاقی برای مقاومت به شته روسی گندم بر اساس کلروز برگ‌ها را نشان می‌دهد. تمام گیاهچه‌های ارقام آزادی و فلات میزان کلروز کمی نشان دادند، در حالی‌که رقم پیش‌تاز دارای کلروز برگ شدیدی بود. در تلاقی رقم مقاوم آزادی با رقم حساس پیش‌تاز نسبت تفکیک نسل‌های BSC ($1R:1S$)، F2 ($3R:1S$) و F3 ($5R:3S$) نشان داد که مقاومت به شته روسی در این رقم با یک ژن غالب کنترل می‌شود. میزان کلروز برگ تمام گیاهچه‌های F1 و BCR حاصل از این تلاقی مشابه والد مقاوم بود که همین امر غالب بودن ژن کنترل‌کننده مقاومت در رقم آزادی را تایید می‌کند (جدول ۲). تمام گیاهچه‌های F1 حاصل از تلاقی رقم فلات با والد پیش‌تاز حساس بودند و تفکیک افراد جمعیت F2 مشتق شده از تلاقی آن‌ها با نسبت ژنتیکی $1R:3S$ توافق نشان دادند. این امر بیانگر این است که مقاومت در رقم فلات با یک ژن مغلوب کنترل می‌شود. نسبت تفکیک گروه‌های حساس و مقاوم در جمعیت‌های BCS ($0R:1S$) و BCR ($1R:1S$) این تلاقی نیز مغلوب بودن ژن کنترل‌کننده مقاومت در رقم فلات را تایید می‌کند (جدول ۲).

درصد، ۱۴ ساعت نور و ۱۰ ساعت تاریکی کاشته شدند. در تمام آزمایش‌ها از گلدان‌های پلاستیکی به قطر ۱۰ و به عمق ۱۵ سانتی‌متر برای کشت بذرها استفاده شد. در هر گلدان که حاوی خاک مزرعه، ماسه و خاک برگ به نسبت ۳:۱:۱ بود، پنج بذر کشت گردید. پس از سبز شدن بذور، ۲۰ گیاهچه دارای مرحله رشدی یکسان برای هر والد، ۴۰ گیاهچه برای نسل F1، ۲۰۰ و ۱۰۰ گیاهچه به ترتیب برای نسل F2 و هر کدام از یک کراس‌ها و ۱۰۰ خانواده از نسل F3 هر کدام با ۱۵-۱۰ گیاهچه انتخاب شد. بقیه گلدان‌ها که بذور آن‌ها سبز نشده و یا از نظر مرحله رشدی متفاوت بودند، حذف گردیدند. گلدان‌های انتخاب شده برای ارزیابی در هر نسل به فاصله ۱۰ سانتی‌متر از یکدیگر قرار داده شدند. گیاهچه‌ها به طور منظم هر دو روز یک بار آبیاری شدند. شته روسی مورد نیاز برای آلودگی مصنوعی از مزارع گندم شهرستان کرج و علف‌های هرز موجود در اطراف این مزارع جمع‌آوری شد. به منظور تهیه یک جمعیت ایزوله و یکنواخت، هر کدام از شته‌ها به طور انفرادی در گلدانی که به وسیله یک سیلندر شفاف پلاستیکی و دارای محفظه‌های توری ایزوله شده بود روی گیاهان حساس جو رقم ریحان پرورش و تکثیر یافتند. یکی از این جمعیت‌ها برای رهاسازی روی ژنوتیپ‌ها انتخاب و بقیه حذف گردیدند. گیاهچه‌ها براساس روش Nkongolo و همکاران، با شته روسی آلوده شدند (۲۳). برای این کار در مرحله ۲-۱ برگ گیاه، تعداد ۵ پوره شته روسی بین سنین ۵-۴ به وسیله قلم موی نرم و مرطوب بر روی هر کدام از گیاهچه‌ها رهاسازی شد. ۲۱ روز پس از رهاسازی، ارزیابی مقاومت ژنوتیپ‌ها به روش کیفی و براساس میزان پیچیدگی برگ‌ها و میزان کلروز برگ‌ها هر دو به روش Webster و همکاران، انجام گرفت (۲۹). اندازه‌گیری خسارت گیاهچه‌ها و تقسیم‌بندی آن‌ها به گروه‌های حساس و مقاوم موقعی انجام گرفت که والد حساس پیچیدگی و کلروز برگ شدیدی نشان داد. توافق نسبت‌های فنوتیپی مشاهده شده در جمعیت‌های مورد مطالعه با تعدادی از نسبت‌های ژنتیکی مورد انتظار به وسیله مربع کای (χ^2) با تصحیح پیوستگی ییتس مورد آزمون قرار گرفت (۲۶).

نتایج

تعداد گیاهان حساس و مقاوم والدین، F1، F2، BCR، BCS و F3 به همراه نسبت‌های تفکیک آن‌ها برای هر دو صفت پیچیدگی و کلروز برگ‌ها در مورد هر دو تلاقی در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است. نسبت‌های ژنتیکی درج شده در این جداول نسبت‌هایی هستند که با استفاده از آزمون مربع کای با نسبت‌های فنوتیپی مشاهده

جدول ۱: تعداد گیاهان مشاهده شده و نسبت‌های مورد انتظار برای مقاومت به شته روسی گندم بر اساس میزان پیچیدگی برگ‌ها و آزمون χ^2 برای توافق آن‌ها با نسبت‌های مندلی

Table 1: Number of plants observed and expected ratios for resistance to Russian wheat aphid based on leaf complexity and χ^2 test for their agreement with Mendelian ratios

Parents and generations	Expected ratios		Number of plants observed		χ^2	P
	Resistant (R)	Sensitive (S)	Resistant (R)	Sensitive (S)		
Freedom × Pioneer						
Freedom	1	0	18	1	1.086	0.297 ^{n.s}
Pioneer	0	1	2	18	1.076	0.302 ^{n.s}
F ₁	1	0	20	1	0.263	0.608 ^{n.s}
BCR	1	0	45	4	2.005	0.157 ^{n.s}
BCS	1	1	19	20	0.026	0.873 ^{n.s}
F ₂	3	1	116	39	0.002	0.965 ^{n.s}
(Families) F ₃	5	3	62	34	0.178	0.965 ^{n.s}
Pioneer × Plateau						
Plateau	1	0	25	2	2.21	0.137 ^{n.s}
Pioneer	0	1	3	25	0.243	0.137 ^{n.s}
F ₁	1	1	2	26	0.982	0.322 ^{n.s}
BCR	1	1	7	8	0.6	0.322 ^{n.s}
BCS	0	1	1	16	0.515	0.473 ^{n.s}
F ₂	1	3	28	67	1.014	0.473 ^{n.s}

جدول ۲: تعداد گیاهان مشاهده شده و نسبت‌های مورد انتظار برای مقاومت به شته روسی گندم بر اساس میزان کلروز برگ‌ها و آزمون χ^2 برای توافق آن‌ها با نسبت‌های مندلی

Table 2: Number of plants observed and expected ratios for resistance to Russian wheat aphid based on leaf chlorosis and χ^2 test for their agreement with Mendelian ratios

Parents and generations	Expected ratios		Number of plants observed		χ^2	P
	Resistant (R)	Sensitive (S)	Resistant (R)	Sensitive (S)		
Freedom × Pioneer						
Freedom	1	0	18	1	1.222	0.269 ^{n.s}
Pioneer	0	1	1	19	0.267	0.606 ^{n.s}
F ₁	1	0	18	3	1.050	0.306 ^{n.s}
BCR	1	0	46	3	0.891	0.345 ^{n.s}
BCS	1	1	22	17	0.641	0.423 ^{n.s}
F ₂	3	1	127	30	2.936	0.087 ^{n.s}
(Families) F ₃	5	3	55	41	1.111	0.292 ^{n.s}
Pioneer × Plateau						
Plateau	1	0	25	2	0.54	0.462 ^{n.s}
Pioneer	0	1	2	26	1.037	0.309 ^{n.s}
F ₁	0	1	3	24	2.209	0.137 ^{n.s}
BCR	1	1	13	2	0.6	0.439 ^{n.s}
BCS	0	1	3	14	0.327	0.567 ^{n.s}
F ₂	1	3	17	78	2.558	0.11 ^{n.s}

بحث

از اطلاعات حاصل از این تجزیه می‌توان نتیجه گرفت که مقاومت به شته روسی گندم در رقم آزادی با دو ژن مشابه کنترل می‌شود. یکی از این ژن‌ها به صورت غالب میزان کلروز برگ را در برابر تغذیه شته کنترل می‌کند و دیگری نیز به صورت غالب میزان پیچیدگی برگ را

تحت کنترل دارد. این اطلاعات نتایج به دست آمده توسط Najafi-Mirak و همکاران (۱۶) را تایید نمی‌کند. Najafi-Mirak و همکاران نتیجه گرفته بودند که مقاومت به شته روسی گندم در رقم آزادی با دو ژن متفاوت کنترل می‌شود. یکی از این ژن‌ها به صورت غالب میزان کلروز برگ در برابر تغذیه شته را کنترل می‌کند و دیگری نیز به صورت مغلوب میزان پیچیدگی برگ را کنترل می‌کند (۱۶). وجود

ژنی و الیگو ژنی غلبه کند. لذا پیش‌بینی تمهیدات لازم در برنامه‌های اصلاحی برای توسعه ارقام مقاوم ضروری به نظر می‌رسد.

منابع

1. Assad, M.T., 2002. Inheritance of resistance to Russian wheat aphid in an Iranian durum wheat line. *Plant Breeding*. 121(2): 180-181. doi: 10.1046/j.1439-0523.2002.00668.x
2. Assad, M.T. and Dorry, H.R., 2001. Inheritance and allelism of resistance to the Russian wheat aphid in two Iranian wheat lines. *Euphytica*. 117(3): 229-232. doi: 10.1023/A:1026520013040
3. Baker, C.A., Porter, D.R. and Webster, J.A., 1996. Identification of genetic diversity for Russian wheat aphid resistance in wheat. In: *Agronomy Abstracts*. ASA, Indianapolis, IN. 93 p.
4. Butts, P.A. and Pakendorf, K.W., 1984. The utility of embryo count method in characterizing cereal crops for resistance to *Diuraphis noxia*. 53-57. In: Walters, M.C., (ed.). *Progress in Russian wheat aphid (Diuraphis noxia Mordvilko) research in the Republic of South Africa*. Technology Community. No. 191. Department of agriculture, Republic of South Africa, Pretoria.
5. Dong, H., Quick, J.S. and Zhang, Y., 1997. Inheritance and allelism of Russian wheat aphid resistance in several wheat lines. *Plant Breeding*. 116(5): 449-453. doi: 10.1111/j.1439-0523.1997.tb01029.x
6. Du Toit, F., 1989. Inheritance of resistance in two *Triticum aestivum* lines to Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae). *Journal of Economical Entomology*. 82(4): 1251-1253. doi: 10.1093/JEE/82.4.1251
7. Du Toit, F. and Van Niekerk, H.A., 1985. Resistance in *Triticum* species to the Russian wheat aphid, *Diuraphis noxia* (Mordvilko) (Homoptera: Aphididae). *Cereal Research Community*. 13: 371-378.
8. Ehdaie, B. and Baker, C.A., 1999. Inheritance and allelism for resistance to Russian wheat aphid resistance genes in an Iranian spring wheat. *Euphytica*. 107: 71-78.
9. Haley, S.D., Peairs, F.B., Walker, C.B., Rudolph, J.B. and Randolph, T.L., 2004. Occurrence of a new Russian wheat aphid biotype in Colorado. *Crop Science*. 44(5): 1589-1592.
10. Kazemi, M.H., Talebi-Chaichi, P., Shakiba, M.R. and Mashhadi-Jafarloo, M., 2001. Biological responses of Russian wheat aphid, *Diuraphis noxia* (Mordvilko) (Homoptera: Aphididae) to different varieties. *Journal of Agricultural Science Technology*. 3: 249-255.
11. Kisten, L., Tolmay, V.L., Mathew, I., Sydneham, S.L. and Venter, E., 2020. Genome-wide association analysis of Russian wheat aphid (*Diuraphis noxia*) resistance in Dn4 derived wheat lines evaluated in South Africa. *PLoS ONE*. 15(12): e0244455. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244455.
12. Liu, X.M., Smith, C.M. and Gill, B.S., 2002. Identification of microsatellite markers linked to Russian wheat aphid resistance genes *Dn4* and *Dn6*. *Theoretical Applied Genetics*. 104(6-7): 1042-1048. doi: 10.1007/s00122-001-0831-y
13. Marais, G.F. and Du Toit, F., 1993. A monosomic analysis of Russian wheat aphid resistance in the

دو ژن مشابه برای کنترل مقاومت به شته روسی قبلاً نیز گزارش شده است. Saidi و Quick، گزارش کردند که مقاومت به شته روسی گندم در توده گندم زمستانه مقاوم PI 294994 به‌وسیله دو ژن غالب کنترل می‌شود (۲۴). هم‌چنین Dong و همکاران، گزارش نمودند که مقاومت به شته روسی در لاین گندم CI 2401 به‌وسیله دو ژن غالب کنترل می‌شود (۵). هم‌چنین اطلاعات حاصل از این تجزیه نشان داد که مقاومت به شته روسی گندم در رقم فلات نیز با دو ژن مشابه کنترل می‌شود. یکی از این ژن‌ها به‌صورت مغلوب میزان پیچیدگی برگ را تحت کنترل دارد و ژن دیگری نیز به‌صورت مغلوب میزان کلروز برگ را در برابر تغذیه شته کنترل می‌نماید. وجود تک ژن مغلوب برای کنترل مقاومت به شته روسی گندم در ژنوتیپ گندم Aegilops tauschii PI 372129 توسط Nkongolo و همکاران، گزارش شده است ولی تاکنون گزارشی مبنی بر شناسایی منابع ژنتیکی گیاهی با چنین وضع ژنتیکی کنترل مقاومتی مشاهده نشده است (۲۰). البته بهتر بود که بین دو رقم آزادی و فلات نیز تلاقی صورت گیرد تا با بررسی نسبت‌های تفکیک در نسل F2 حاصل و انجام تجزیه آلی با اطمینان بیش‌تری بتوان نسبت به نحوه کنترل ژنتیکی مقاومت به شته روسی گندم در این دو رقم نظر داد. بر اساس نتایج آزمایشات انجام شده در مورد نحوه کنترل ژنتیکی مقاومت به شته روسی گندم می‌توان دریافت که مقاومت به این شته در ژنوتیپ‌های مختلف گندم به‌وسیله ژن‌های مختلف با اثرات متفاوت کنترل می‌شود. البته تغییرات پیوسته سطح مقاومت در ژنوتیپ‌های مقاوم نشان می‌دهد که علاوه بر ژن‌های اصلی شناسایی شده عوامل دیگری نظیر ژن‌های فرعی کم اثر و یا ژن‌های تغییر دهنده در بروز مقاومت موثر هستند و همین عوامل باعث پیچیدگی‌هایی در آزمایشات ژنتیکی می‌گردد (۱۶، ۲۱). از پیچیدگی‌های دیگر آزمایشات ژنتیکی به‌کارگیری ژنوتیپ‌های متفاوت (به‌عنوان والد حساس و یا مقاوم) در آزمایشات مختلف است. بعضی از ژنوتیپ‌ها دارای سطح بالایی از مقاومت هستند. درحالی‌که بعضی مقاومت متوسطی دارند و تلاقی بین این منابع متفاوت مقاومت می‌تواند منجر به حصول ترکیبات ژنی متفاوتی گردد. به‌کارگیری مقیاس‌های متفاوت برای ارزیابی مقاومت در آزمایشات مختلف نیز می‌تواند باعث کسب نتایج متفاوت از نظر ترکیبات ژنی گردد (۸). با توجه به عدم انجام تلاقی بین ارقام مقاوم آزادی و فلات، در صورتی که رابطه آلی بین ژن‌های اصلی مقاومت در دو رقم مقاوم وجود نداشته باشد، می‌توان با انتقال این ژن‌ها به ارقام گندم مطلوب و سازگار با منطقه، مقاومت پایداری را به بیوتیپ‌های مختلف شته روسی گندم به‌دست آورد. وجود تنوع ژنتیکی در بین جمعیت‌های مختلف این شته (۹، ۱۲) و پیدایش بیوتیپ‌های جدیدی از آفت (۱۱، ۲۱، ۲۵) می‌تواند بر مقاومت تک

26. Steel, R.G., Torrie, J.H. and Dickey, D.A., 1997. Principles and procedures of statistics, a biometrical approach. The McGraw-Hill Companies, Inc.
27. Tolmay, V.L., Lindeque, R.C. and Prinsloo, G.J., 2007. Preliminary evidence of a resistance-breaking biotype of the Russian wheat aphid, *Diuraphis noxia* (Kurdjumov) (Homoptera: Aphididae), in South Africa. *African Entomology*. 15(1): 228-230. doi: 10.4001/1021.3589-15.1.228
28. Tolmay, V.L., Sydenham, S.L., Sikhakhane, T.N., Nhlapho, B.N. and Tsilo, T.J., 2020. Elusive diagnostic markers for Russian wheat aphid resistance in bread wheat: Deliberating and reviewing the status quo. *International journal of molecular sciences*. 21(21): 8271. doi: 10.3390/ijms21218271.
29. Webster, J.A., Starks, K.R. and Burton, R.L., 1987. Plant resistance studies with *Diuraphis noxia*, a new United States wheat pest. *Journal of Entomology*. 80(4): 944-949. <https://doi.org/10.1093/jee/80.4.944>
30. Xu, X., Bai, G., Carver, B.F., Zhan, K., Huang, Y. and Mornhinweg, D., 2015. Evaluation and reselection of wheat resistance to Russian wheat aphid biotype 2. *Crop Science*. 55: 1-7. doi: 10.2135/cropsci2014.07.0473
31. Zhang, Y., Quick, J.S. and Liu, S., 1998. Genetic variation in PI 294994 wheat for resistance to Russian wheat aphid. *Crop Science*. 38: 527-530. <https://doi.org/10.2135/cropsci1998.0011183X003800020042x>
14. Masinde, E.A., Malinga, J.N., Ngenya, W.A., Mulwa, R.M.S. and Cakir, M., 2014. Molecular characterization of resistance to Russian wheat aphid (*Diuraphis noxia* Kurdjumov) in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) line KRWA9. *International journal of biotechnology and molecular biology research*. 5(6): 68-75. doi: 10.5897/IJBMBR
15. Miller, B.M., Porter, D.R., Burd, J.D., Mornhinweg, D.W. and Burton, R.L., 1994. Physiological effect of Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae) on resistant and susceptible barley. *Journal of Economical Entomology*. 87(2): 493-499. <https://doi.org/10.1093/jee/87.2.493>
16. Najafi-Mirak, T., Zali, A., Hosseyn-Zadeh, A. and Zeynali, H., 2004. Study of resistance to Russian wheat aphid resistance in some of bread and durum wheat genotypes. *Journal of science and technology of agriculture and natural resources*. 7(4): 115-127. (In Persian)
17. Nematollahi, M., 1999. Identification the sources of resistance to Russian wheat aphid (*Diuraphis noxia*) in wheat genotypes. Master of science thesis. Iran, University of Shiraz. (In Persian)
18. Nkongolo, K.K., Quick, J.S., Limin, A.E. and Fowler, D.B., 1991. Sources and inheritance of resistance to Russian wheat aphid in *Triticum* species amphiploids and *Triticum tauschii*. *Canadian Journal of Plant Science*. 71(3): 703-708. doi: 10.4141/cjps91-103
19. Nkongolo, K.K., Quick, J.S., Mayer, W.L. and Pears, F.B., 1989. Russian wheat aphid resistance of wheat, rye and triticale in greenhouse test. *Cereal Research Community*. 17: 227-232.
20. Nkongolo, K.K., Quick, J.S., Pears, F.B. and Meyer, W.R., 1991. Inheritance of resistance of PI 372129 wheat to Russian wheat aphid. *Crop Science*. 31: 905-907. <https://doi.org/10.2135/cropsci1991.0011183X003100040012x>
21. Nouri-Qanbalani, Q., Ebrahimi-Hajikolayi, J., Mardani-Talay, M., Razmjou, J. and Fathi, S.A.A., 2020. Evaluation of resistance to Russian wheat aphid (*Diuraphis noxia*: Mordvilko) resistance in some of commercial wheat cultivars and advanced wheat lines. *Journal of plant production (Science and technology of agriculture)*. 33(4): 409-421. (In Persian)
22. Radchenko, E.E., Abdullaev, R.A. and Anisimova, I.N., 2022. Genetic resources of cereal crops aphid resistance. *Plants*. 11: 1490. <https://doi.org/10.3390/plants11111490>.
23. Randolph, T.L., Peairs, F.B., Weiland, A., Rudolph, J.B. and Puterka, G.J., 2009. Plant responses to seven Russian wheat aphid (Hemiptera: Aphididae) biotypes found in the United States. *Journal of Economical Entomology*. 102(5): 1954-1959. doi: 10.1603/029.102.0528
24. Saidi, A. and Quick, J.S., 1996. Inheritance and allelic relationships among Russian wheat aphid resistance genes in winter wheat. *Crop Science*. 36(2): 256-258. <https://doi.org/10.2135/cropsci1996.0011183X003600020007x>
25. Shekariyan, B., 1999. Study of resistance to Russian wheat aphid resistance in wheat cultivars in Karaj. Master of science thesis. Iran, University of Tehran. (In Persian)