گیاه‌پزشکی (مجله علمی کشاورزی)
جلد ٤٦، شماره ١، بهار ١٤٠٢

10.22055/ppr.2023.42655.1673

ارزیابی مقاومت کمی به نژاد ۱.۲ عامل پژمردگی فوزاریومی در توده‌های بومی خربزه با استفاده از مؤلفه‌های شاخص بیماری

ابوالفضل بزرگمهر[۱]، محمدصادق ثابت[۲*]، محمدعلی ملبوبی[۳] و احمد معینی[۲]

۱- دانشجوی دکتری گروه ژنتیک و به نژادی گیاهی، پردیس کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- **نویسنده مسوول**: دانشیار، گروه ژنتیک و به نژادی گیاهی، پردیس کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (ms.sabet@modares.ac.ir)

۳- استاد، گروه بیوتکنولوژی گیاهی، پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست فناوری تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۴

چکیده

بیماری پژمردگی فوزاریومی یکی از مهم‌ترین بیماری‌های خربزه (*Cocumis melo* L.) است که سبب خسارت ۲۰ تا ۸۰٪ در مزارع خربزه می‌شود و در شرایط مساعد گسترش بیماری به ۱۰۰٪ نیز می‌رسد. در این پژوهش ٤٦ توده بومی خربزه جمع‌آوری شده از نقاط مختلف استان‌های خراسان رضوی، شمالی و جنوبی و به همراه دو رگه افتراقی ایزابل و شارنته T به منظور شناسایی منابع جدیدی از مقاومت به بیماری پژمردگی فوزاریومی مطالعه شد. آزمایش‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه اجرا شد. ریشه گیاهچه‌ها ١٤ روزه با سوسپانسیون اسپور *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* نژاد ۱.۲ مایه‌زنی شد. ارزیابی مقاومت با استفاده از شاخص‌های سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری، دوره نهفتگی بیماری، شدت بیماری و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری استاندارد شده در توده‌ها محاسبه گردید. بررسی تنوع مقاومت توده‌های مورد مطالعه با استفاده از تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار ۱٪ بین توده‌ها برای هر چهار شاخص مورد مطالعه بود. براساس نتایج حاصل از نقشه حرارتی در ژنوتیپ ایزابل و توده قائنات مقاومت به نژاد ۱.۲ بیماری پژمردگی فوزاریومی وجود دارد. همچنین تجزیه خوشه‌ای توده‌ها بر اساس روش وارد منجر به شناسایی شش گروه مقاومت از ٤٦ توده بومی مورد مطالعه به همراه دو رگه افتراقی شاهد شد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد براساس هر چهار شاخص فوق ژنوتیپ ایزابل به عنوان شاهد مقاوم و توده‌های قائنات، تیل مگسی، تیل زرد، تیل طرق، لاکی ۱ و تیل کشیده دارای مقاومت به نژاد ۱.۲ عامل بیماری پژمردگی فوزاریومی بودند.

واژه‌های کلیدی: پژمردگی آوندی، تجزیه خوشه‌ای، دوره نهفتگی بیماری، رگه افتراقی، سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری، شاخص شدت بیماری، کدوییان

دبیر تخصصی: دکتر رضا مستوفی‌زاده قلمفرسا

Citation: Bozorgmehr, A., Sabet, M.S., Malboobi, M.A. & moieni, A. (2023). Evaluation of quantitative resistance to Fusarium wilt race 1.2 in landraces of melon using disease index parameters. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, *46*(1), 57-71. https://doi.org/ 10.22055/ppr.2023.42655.1673.

مقدمه

خربزه یکی از مهم‌ترین محصولات صیفی در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری است که به دلیل اهمیت اقتصادی زیاد، کشت آن در کشورهای مناطق معتدل نیز رشد چشمگیری داشته است (FAO, 2021). جنس *Cucumis* شامل دو محصول مهم خیار و ملون‌ها شامل خربزه، طالبی، گرمک، دستنبو و خیار چنبر است (Robinson & Walters,1997; Liu et al., 2020). اگر چه به نظر برخی از محققین گیاه ملون خاستگاه آفریقایی دارد، با وجود این، آسیای جنوب غربی و آسیای مرکزی مهم‌ترین مراکز اولیه ژرم‌پلاسم این گیاه به شمار می‌روند. علیرغم تنوع ژنتیکی زیاد خربزه در اسپانیا، اعتقاد بر این است که اهلی‌سازی خربزه در هندوستان و ایران آغاز شده است. هندوستان، ایران، افغانستان و چین به عنوان مراکز ثانویه تنوع خربزه در نظر گرفته شده‌اند. شواهد مبتنی بر روش‌های جدید مولکولی (ترکیب داده‌های توالی‌یابی ژنوم کلروپلاست و هسته) نشان داده است که *Cocumis melo* L. یک منبع آسیایی نیز دارد (Sebastian et al., 2010). خربزه (*Cucumis melo* var. inodorus) یک گیاه دیپلوئید ($2n = 2x = 24$) می‌باشد (Robinson & Decker-Walters, 1997). بیشتر رقم‌های تجاری ملون در ایران به دو گروه Inodorus و Cantalupensis تعلق دارد (Lotfi ;Raghami et al., 2014; Liu et al., 2020 & Kashi, 1999). همچنین، گروه Dudaim در مناطق وسیعی از ایران گسترش دارد و دارای میوه‌های کوچک قرمز مایل به زرد یا قهوه‌ای و مخطط می‌باشد (Raghami et al., 2014).

امروزه بالغ بر ۱/۲۴۵/۸۴۱ هکتار از زمین‌های زراعی در دنیا و ۸۲/۰۲۰ هکتار در ایران به کشت خربزه اختصاص یافته است. خربزه به طیفی از بیماری‌ها نظیر بیماری‌های ویروسی، بوته میری جالیز، سفیدک سطحی، جرب جالیز، لکه موجی، ساق سیاه خربزه و پژمردگی فوزاریومی حساس است که کمیت و کیفیت محصول را کاهش می‌دهند. بیماری پژمردگی فوزاریومی بیماری بسیار شایع در گیاهان می‌باشد. دامنه گسترش این بیماری، بسیار بالا است و تقریباً تمامی نواحی کشت خربزه و طالبی جهان را فرا گرفته است. خسارت حاصل از این بیماری در نواحی مرکزی ایالت مینه سوتا آمریکا، ۹۰ تا ۱۰۰٪ گزارش شده است. در ایران نیز به طور متوسط خسارت این بیماری ، بین ۲۰ تا ۸۰٪ گزارش شده است که در شرایط مساعد، گسترش آن به ۱۰۰٪ نیز می‌رسد (Rafzi, 2014). با این حال، با توجه به توانایی سازگاری و تکامل جمعیت‌های فوزاریوم که می‌تواند ژن‌های مقاومت خاص را بی اثر کند، دسترسی به منابع ژنتیکی مقاومت با پایه‌های ژنتیکی مختلف ضرورت دارد. از این رو برای غلبه به این بیماری، غربالگری ژرم پلاسم‌های جدید اجتناب ناپذیر است که می‌تواند منجر به یافتن ژن‌های جدیدی شود که مقاومت موجود را تقویت کند. از طرف دیگر، اگرچه انتقال این ژن‌های مقاومت شناخته شده پیچیده نیست، حذف ویژگی‌های نامطلوب منتقل شده با ژن‌های مقاومت که منجر به دستیابی به گونه‌ها یا دورگ‌هایی با ارزش تجاری می‌شود، بسیار دشوار است (Perchepied et al., 2004; Chikh-Rouhou et al., 2010; Chikh-Rouhou et al., 2021).

همانند بسیاری از محصولات دیگر، خربزه نیز نسبت به بیمارگرهای قارچی خاک‌برد متعددی حساس است که منجر به بیماری و کاهش عملکرد و کیفیت میوه می‌شود. در این میان *Fusarium. oxysporum* f. sp. *melonis* W.C. Snyder & H.N. Hansen بیشترین آسیب را به عملکرد و کیفیت محصول وارد می‌کند (Crino et al., 2007). این عامل قارچی در خاک به شکل کلامیدوسپور (یک اسپور بزرگ با دیواره ضخیم) می‌باشد و قادر به کلونیزه کردن باقی مانده‌های محصول و ریشه‌های بیشتر گیاهانی است که در تناوب با خربزه کشت می‌شوند (Gordon et al., 1989). یکی از مهمترین گونه‌های جنس فوزاریوم، *F. oxysporum* Schltdl است که از نظر خسارت اقتصادی در

کشاورزی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. این گونه دارای میزبان‌های اختصاصی بسیار زیادی است (Hanson et al., 1995). همچنین *F. oxysporum* یک بیمارگر گیاهی مهم جهانی است که باعث پوسیدگی ریشه، پیاز، طوقه و پژمردگی آوندی در طیف وسیعی از محصولات باغی و گیاهان زینتی از جمله پیاز، کاهو، گوجه فرنگی، خیار، خربزه، نخود، نرگس و گل میخک می‌شود (Taylor et al., 2019). این قارچ در تمامی مراحل رشدی گیاه (به خصوص در مراحل گیاهچه‌ای و رسیدگی میوه) خسارت زا می‌باشد، مهمترین قسمت گیاه که می‌توان قارچ را از آن جدا نمود، محدوده‌ی ۱۰-۸ سانتی‌متری بالای طوقه می‌باشد. در این گونه، اختصاصی بودن میزبان بسیار حائز اهمیت بوده، بیماری‌زایی محدود به یک میزبان یا گونه‌های بسیار نزدیک به آن می‌باشد (Oumouloud et al., 2013).

بیماری پژمردگی فوزاریومی ناشی از آلودگی گیاهان با *F. oxysporum* f. sp. *melonis* یکی از مخرب‌ترین بیماری‌های خربزه می‌باشد (Oumouloud et al., 2013). گونه‌ی *F. oxysporum* f. sp. *melonis* بر اساس بیماری‌زایی در سه رقم مختلف ملون شامل Charentais-T، Doublon وCM-17187 به چهار نژاد رایج صفر ، ۱ ، ۲ و ۱.۲ تقسیم شده‌اند. نژاد ۱ عامل پژمردگی فوزاریومی از خربزه‌های گرمسار و مشهد و نژاد ۱.۲ از کشت‌های خربزه در استان فارس جدا شده است (Banihashemi, 2010). همچنین ژن‌های مقاومت در برابر این چهار نژاد نیز در ارقام مذکور شناسایی شده‌اند. مقاومت به نژادهای صفر، ۱ و ۲ از توارث ساده و کیفی برخوردار بوده، درحالیکه مقاومت به نژاد ۱.۲ دارای توارث پلی ژنی بوده و مقاومت در این مکان نسبی است، مقاومت به این نژاد تنها در چند توده محلی در آسیای شرقی گزارش شده است. ژن *Fom-1* کنترل مقاومت به نژادهای صفر و ۲ و ژن *Fom-2* کنترل مقاومت به نژادهای صفر و ۱ را به عهده دارند (Oumouloud et al., 2013; Sebastiani et al., 2017). مقاومت در برابر نژاد ۱.۲توسط چندین ژن مغلوب با اثرات اپیستاتیک کنترل می‌شود و از این رو مهار این بیماری دشوار است (Chikh-Rouhou et al., 2011)، در نتیجه، جستجو برای استفاده از ژن‌های جدیدی که نسبت به پژمردگی فوزاریومی نژاد ۱.۲ ایجاد مقاومت کنند، یکی از اهداف جدی در اصلاح خربزه محسوب می‌شود. به منظور شناسایی و ارزیابی بیماری‌زایی گونه‌های فوزاریوم مرتبط با پوسیدگی ریشه و طوقه‌ی طالبی و خربزه از کشت قسمت‌های طوقه، ساقه و ریشه (محل استقرار عامل بیماری‌زا) بوته‌های دارای علائم بیماری در مزارع مختلف استان خراسان رضوی استفاده شد (Timuri et al., 2012). گونه‌های بیماری زای فوزاریوم شامل *F. solani* (Mart.) Sacc.، *F. oxysporum*، *F. equiseti* (Corda) Sacc. و *F. acuminatum* Ellis & Everh شناسایی و گونه *F. solani* به دلیل بیشترین فراوانی به عنوان گونه غالب معرفی شد. همچنین *F. equiseti* و *F. acuminatum* بیشتردر گیاهان بالغ شناسایی شد در حالیکه *F. solani* و *F. oxysporum* در تمام مراحل رویشی گیاهان از گیاهچه تا میوه‌دهی قابل شناسایی بوده و در سراسر استان خراسان نیز پراکنش وسیعی نشان داده است (Timuri et al., 2012).

امروزه به کمک شاخص‌های بسیار مهم سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری[1]، دوره نهفتگی بیماری[2]، شدت بیماری[3] و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری استاندارد شده[4] مقاومت به بیماری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد که بر پایهٔ چند نوبت یادداشت برداری از گیاهانی که با عامل بیماری آلوده شده‌اند و نمره ثبت شده آن‌ها بر اساس روش Perchepied & Pitrat (2004) محاسبه می‌شود. براین اساس هر چه طول دوره نهفتگی بیشتر و میزان سطح زیر منحنی بیماری کمتر باشد، از مقاومت بیشتر توده‌ها به

1- Area Under Disease Progress Curve; AUDPC
2- Latent Period; LP
3- Disease Severity Index; DSI
4- Standardized Area Under Disease Progress Curve; SAUDPC

بیماری پژمردگی فوزاریومی ناشی از نژاد ۱.۲ حکایت دارد (Chikh-Rouhou et al., 2008). پژوهش حاضر با هدف ارزیابی مقاومت به نژاد ۱.۲ بیماری پژمردگی فوزاریومی در توده‌های بومی خربزه استان‌های خراسان رضوی، شمالی و جنوبی و گزینش توده مناسب به منظور استفاده در برنامه‌های اصلاحی با ارزیابی شاخص‌های LP، AUDPC، DSI و SAUDPC انجام شد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

در این تحقیق ۴۶ توده بومی خربزه (*C. melo*) از نقاط مختلف استان‌های خراسان رضوی، شمالی و جنوبی (تهیه شده از بانک ژن گروه ژنتیک و به‌نژادی گیاهی و بیوتکنولوژی کشاورزی پردیس کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس)، به همراه ارقام افتراقی ایزابل و شارنته T به ترتیب شاهد مقاوم و حساس، دریافتی از مؤسسه INRAe کشور فرانسه، مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۱). بذور گیاهان پس از ضدعفونی سطحی با محلول هیپوکلریت سدیم ۵ ٪ تجاری به مدت ۵-۳ دقیقه با آب شستشو شدند. تعداد ۱۵ بذر از هر توده به همراه دو رگه افتراقی در سینی‌های کشت حاوی مخلوط کوکوپیت و پرلیت (۲:۱) در دمای ۳۰-۲۵ درجه‌ی سلسیوس با یک دوره‌ی نوری ۱۶ ساعته در گلخانه شیشه‌ای پردیس کشاورزی دانشگاه تربیت‌مدرس کاشته شدند. گیاهان هر روز تا رسیدن به مرحله یک برگی آبیاری شدند.

جدول ۱- توده‌های خربزه مورد مطالعه در پاسخ به نژاد ۱.۲ *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*

Table 1- Melon landraces studied in response to *Fusarium oxyxporum* f.sp. *melonis* race 1.2

No.	Landrace	origin	No.	Landrace	origin
1	Hoz sorkh	Khorasan	25	Zard Moatar	Khorasan
2	Kashefi	Torbat Heydarieh	26	Bakhrfan Sarkhs	Khorasan
3	Laki Zard	Khorasan	27	Mashhadi Koghak	Khorasan
4	Birgand	Birjand	28	Zard Tali	Khorasan
5	Laki 1	Koh Sorkh	29	Tashkandi Bozorg	Khorasan
6	Laki 2	Koh Sorkh	30	Danab	Khorasan
7	Laki Zard 4	Thaibad	31	Till	Khorasan
8	Chrok Zard	Jim Abad Mashhad	32	Mavolati	Khorasan
9	Khaghani	Khorasan	33	Ghasri	Bazar
10	Sefid	Khaf	34	Ali Gharib	Khorasan
11	Khrbozeh Sarkhs	Khorasan	35	Mino 0 95	Bazar
12	Laki 3	Khorasan	36	Royan 95	Bazar
13	Zard Moshak Dorosht	Khorasan	37	Thaibad 1	Thaibad
14	Zard 25	Khorasan	38	Thaibad 2	Thaibad
15	Gabari	Khorasan	39	Qaenat	Qaenat
16	Avishni	Torbat Jam	40	Mashhadi	Khorasan
17	Laki Sabz 3	Khorasan	41	Khatoni	Khorasan
18	Khatoni	Khorasan	42	Soski Sabz	Khorasan
19	Till Zard	Khorasan	43	Till Torgh	Khorasan
20	Till Keshideh	Khorasan	44	Ghasri Mashhad ×Samsori	Mashhad
21	Till Mashhad	Khorasan	45	Rashydi Toghermez	Khorasan
22	Till Magasi	Neyshabour	46	Zemestani	Khorasan
23	Zard Talai	Khorasan	47	Charente T *	INRAe
24	Laki Zard 1	Thaibad	48	Isabel*	INRAe

* رگه‌های افتراقی ایزابل و شارنته T به ترتیب به عنوان ارقام مقاوم و حساس در پاسخ به نژاد ۱.۲ *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*.

تهیهٔ مایهٔ قارچ

جدایه‌ی Mt13-3a از نژاد ۱.۲ *F. oxysporum* f. sp. *melonis* از بخش گیاه‌پزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز (اهدایی دکتر ضیاءالدین بنی‌هاشمی) استفاده شد. آزمون بیماری‌زایی روی رگه افتراقی شارنته T (شاهد حساس) بر اساس روش فرو بردن ریشه در سوسپانسیون کنیدیوم انجام گرفت. همچنین تعیین نژاد تکمیلی روی رگه افتراقی ایزابل و ملاحظهٔ واکنش ناسازگاری روی رگه افتراقی ایزابل در شرایط کنترل شده صورت گرفت (Banihashemi, 2010). به منظور نگهداری نژاد قارچی از محیط کشت جامد PDA[1] (عصاره ۳۰۰ گرم سیب‌زمینی پخته + ۲۰ گرم دکستروز + ۱۵ گرم آگار) استفاده شد. به منظور تکثیر، جدایه‌ی Mt13-3a از *F. oxysporum* f. sp. *melonis* به مدت ۱۵ روز در ۲۵ درجه‌ی سلسیوس نگهداری شد (Banihashemi, 2010).

مایه‌زنی گیاهان با قارچ عامل بیماری

برای تهیهٔ مایهٔ سوسپانسیون کنیدیوم‌ها (غالباً میکروکنیدیوم)، از کشت ۱۵ روزه‌ی جدایه‌ی Mt13-3a نژاد ۱.۲ *F. oxysporum* f. sp. *melonis* کشت شده بر روی محیط PDA استفاده شد. ابتدا با استفاده از اسلاید گلبول شمار، تعداد آن‌ها در یک میلی‌لیتر تعیین و در نهایت، غلظت آن به 10^6 اسپور در میلی‌لیتر با آب مقطر تنظیم شد. ریشه گیاهچه‌های جوان ۱۴-۱۲ روزه به آرامی از داخل سینی نشا خارج و با آب شستشو شد تا محتویات کوکوپیت و پرلیت اطراف ریشه‌ها جدا شود. سپس ریشه به مدت ۲ دقیقه در محلول سوسپانسیون اسپور بیمارگر قرار گرفت. گیاهان پس از مایه‌زنی دوباره به سینی کشت حاوی خاک ضدعفونی شده توسط دستگاه اتوکلاو منتقل شدند و به مدت ۳۰ روز در ۳۰-۲۵ درجه‌ی سلسیوس با یک دوره‌ی نوری ۱۶ ساعته در گلخانه نگهداری شدند (Banihashemi, 2010).

ارزیابی بیماری

پس از انجام مایه‌زنی، تاریخ مایه‌زنی و ظهور اولین علائم روی بوته‌ها ثبت شد. گسترش علائم روی بوته‌ها هر روز طی بازه ۳۰ روزه تا زمان مرگ کامل بوته‌ها صورت پذیرفت. مقیاس امتیازدهی براساس علائم بیماری برای بوته کاملاً سالم و بدون علایم زردی، بافت‌مردگی یا پژمردگی، مقیاس (۱)؛ زردی لپه‌ها یا اولین برگ حقیقی مقیاس (۲)؛ زردی یا پژمردگی دو برگ حقیقی اول مقیاس (۳)؛ زردی یا پژمردگی سه برگ حقیقی یا بیش از آن و قهوه‌ای شدن ساقه مقیاس (۴)؛ خشکی کامل و مرگ گیاه مقیاس (۵) انجام گرفت (Perchepied & Pitrat 2004). سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) طبق رابطه ۱ (Campbell & Madden 1990) محاسبه شد:

رابطه ۱: $AUDPC = \Sigma i[(xi + xi+1)/2](ti+1 - ti)$

در رابطه فوق؛ xi میانگین نمره بیماری گیاه در روز iام، xi+1 میانگین نمره بیماری در روز i+1 و ti+1 فاصله دو زمان نمونه‌برداری است.

دوره نهفتگی بیماری (LP) براساس تعداد روزها از زمان مایه‌زنی تا ظهور اولین علائم محاسبه شد.

سطح زیر منحنی استاندارد شده طبق رابطه ۲ (Madden et al., 2007) محاسبه شد:

رابطه ۲: $SAUDPC=\frac{AUDPC}{D}$

در رابطه فوق D فاصله زمانی انجام آزمایش می‌باشد و از طریق رابطه : $D = t_n - t_1$ محاسبه می‌گردد، t_1 زمان اولین یادداشت برداری بیماری و t_n زمان آخرین یادداشت برداری است.

همچنین شاخص شدت بیماری طبق رابطه ۳ (Madden et al., 2007) محاسبه شد:

رابطه ۳: $DSI=\frac{\Sigma\left(\frac{R}{d}\right)\times 100}{XD}$

در رابطه فوق: R امتیاز بیماری در هر زمان، d مقیاس بیماری، X بالاترین امتیاز آلودگی (۵) و D تعداد نهایی روزهای امتیاز دهی به بیماری می‌باشد.

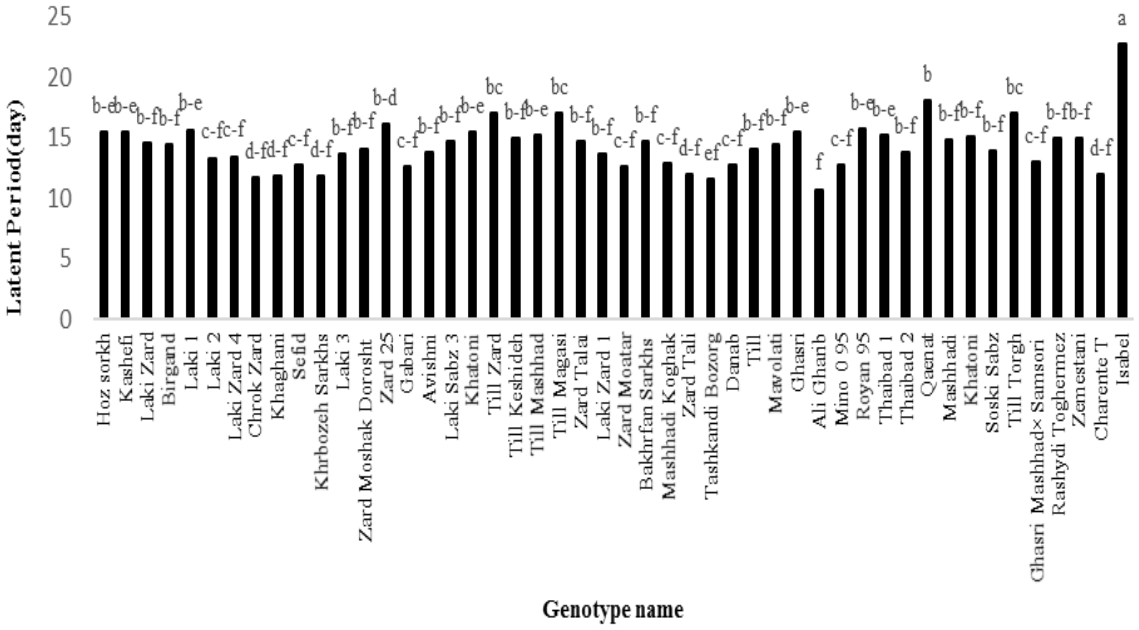
1- Potato Dextrose Agar; PDA

واکاوی آماری داده‌ها

کلیه فرضیات تجزیه واریانس (ANOVA) از جمله یکنواختی واریانس‌ها و نرمال بودن توزیع اشتباهات آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ بررسی شد. آزمایش‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و ۵ گیاه در هر تکرار انجام گرفت. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹ (SAS Ins., 1996) صورت گرفت. گروه‌بندی توده‌ها از نظر شاخص‌های مورد ارزیابی به روش Ward و براساس معیار فاصله اقلیدوسی با استفاده از برنامه R نسخه R v.4.1.0 و بسته apcluster انجام گرفت. همچنین ترسیم نقشه حرارتی براساس مقادیر میانگین شاخص‌های نرمال شده و به روش Ward و فاصله اقلیدوسی انجام شد. نقشه حرارتی با استفاده از برنامه R و بسته ComplexHeatmap ترسیم شد.

نتایج

نتایج حاصل از ارزیابی علائم روی بوته‌ها پس از مایه‌زنی با جدایه‌ی Mt13-3a نژاد ۱.۲ *F. oxysporum* f. sp. *melonis* حاکی از بروز اولین علائم، ۹ روز پس از مایه‌زنی بود. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد بین توده‌ها از نظر شاخص‌های LP، AUDPC، DSI و SAUDPC در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌داری وجود دارد. براساس نتایج مقایسه میانگین شاخص LP، بین اغلب توده‌های مورد مطالعه با شاهد حساس (شارنته T) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. این در حالی بود که ژنوتیپ ایزابل و توده‌های قائنات، تیل مگسی، تیل زرد و تیل طرق به ترتیب با LP معادل ۲۲/۷۳، ۱۸/۰۵، ۱۷/۰۶، ۱۷ و ۱۷ روز در مقایسه با شاهد حساس با LP معادل ۱۲روز تفاوت معنی‌داری را نشان دادند. در این بین ژنوتیپ ایزابل بیشترین مقدار LP را به خود اختصاص داد (شکل ۱).



شکل ۱- مقایسه میانگین شاخص دوره نهفتگی در توده‌های خربزه ۳۰ روز پس از مایه‌زنی با نژاد ۱.۲ *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*. رگه‌های افتراقی ایزابل و شارنتهT به ترتیب به عنوان ارقام شاهد مقاوم و حساس در نظر گرفته شده است. مقایسه مقادیر دارای حروف متفاوت اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ را با یک‌دیگر نشان می‌دهد.

Figure 1. Comparison of the average latenet perios (LP) index in melon landraces 30 days after inoculation with *Fusarium oxyxporum* f. sp. *melonis* race 1.2. The differential lines of Isabel and Charente T were considered as resistant and sensitive control cultivars, respectively Values followed by different letters are significantly different from each other at $P \leq 0.01$.

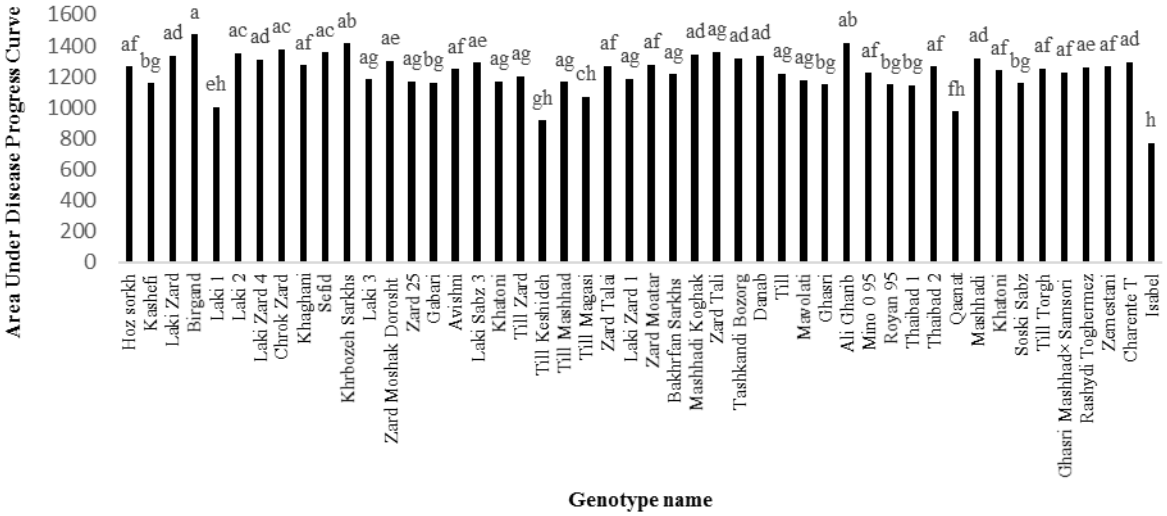
نتایج مقایسه میانگین شاخص AUDPC نشان داد ژنوتیپ ایزابل و توده‌های تیل کشیده، قائنات، لاکی ۱ و تیل مگسی به ترتیب با ۱/۶۳، ۱/۳۷، ۱/۲۹، ۱/۲۵ و ۱/۱۷ درصد نسبت به شاهد حساس (شارنته T) دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند. از سوی دیگر شاخص AUDPC در این توده‌ها تفاوت معنی‌داری با ژنوتیپ مقاوم (ایزابل) نشان نداد (شکل ۲).

نتایج مقایسه میانگین داده‌های شاخص DSI در توده‌های خربزه مورد مطالعه نشان داد ژنوتیپ ایزابل و توده تیل کشیده به ترتیب با ۸/۲۹ و ۱۲/۰۳ درصد نسبت به شاهد حساس (۱۴/۹۶٪) دارای شاخص DSI معنی‌دار کمتری بودند و سایر توده‌ها با شاهد حساس تفاوت معنی‌داری از لحاظ شاخص DSI نشان ندادند. بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌های شاخص SAUDPC نیز از بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، تنها ژنوتیپ ایزابل با ۲۱/۴۲٪ و توده تیل کشیده با ۳۱/۱۰٪ تفاوت معنی‌داری با شاهد حساس (۳۷/۷۴٪) نشان دادند. بین سایر توده‌های مورد مطالعه با شاهد حساس تفاوت معنی‌داری از لحاظ شاخص SAUDPC ملاحظه نگردید (جدول ۲).

تجزیهٔ خوشه‌ای توده‌های مورد مطالعه

با توجه به تفاوت توده‌ها با ژنوتیپ‌های شاهد از نظر شاخص‌های مقاومت مورد ارزیابی، تجزیهٔ خوشه‌ای با استفاده از روش Ward با بیشترین ضریب همبستگی کوفنتیک (۰/۸۴) در مقایسه با سایر روش‌ها انجام گرفت. نتایج تجزیه خوشه‌ای منجر به ایجاد شش گروه از توده‌های مورد مطالعه شد (شکل ۳).

بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای، گروه اول تا ششم به ترتیب شامل ۱۳، ۸، ۱۴، ۱، ۴ و ۸ توده بود. توده‌های گروه اول، دوم و سوم از لحاظ شاخص AUDPC، DSI و SAUDPC بالاتر از میانگین کل و از نظر شاخص LP پایین‌تر از میانگین کل بودند. توده‌های گروه چهارم، پنجم و ششم از لحاظ شاخص AUDPC، DSI و SAUDPC پایین‌تر از میانگین کل و از نظر شاخص LP بالاتر از میانگین کل بود (جدول ۳).



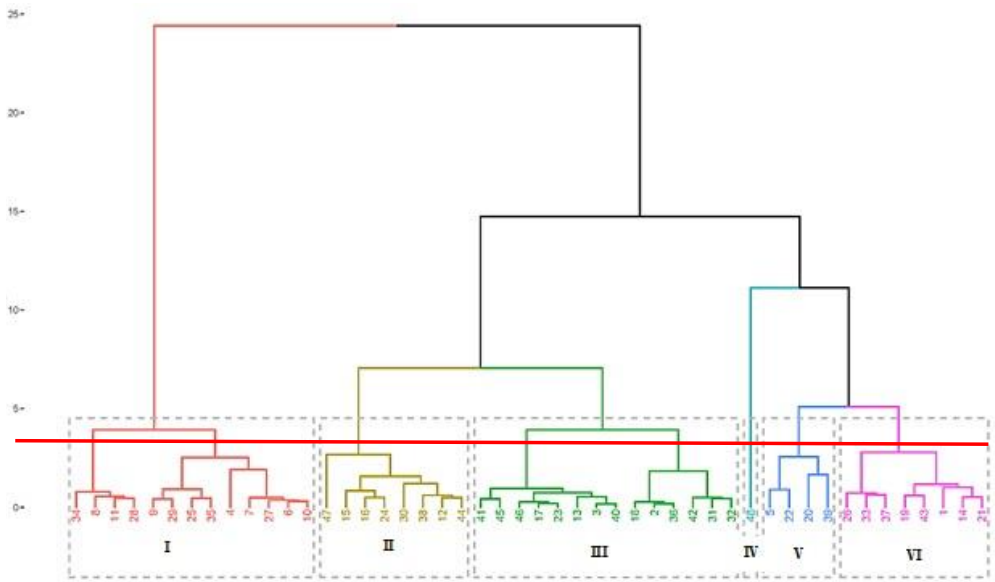
شکل ۲- مقایسه میانگین شاخص AUDPC در توده‌های خربزه ۳۰ روز پس از مایه‌زنی با نژاد ۱.۲ *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*. رگه‌های افتراقی ایزابل و شارنته T به ترتیب به عنوان ارقام شاهد مقاوم و حساس در نظر گرفته شده است. مقایسه مقادیر دارای حروف متفاوت اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ را با یک‌دیگر نشان می‌دهد.

Figure 2. Comparison of the average AUDPC index in melon landraces 30 days after inoculation with *Fusarium oxyxporum* f. sp. *melonis* race 1.2. The differential lines of Isabel and Charente T were considered as resistant and sensitive control cultivars, respectively Values followed by different letters are significantly different from each other at $P \leq 0.01$.

جدول ۲- مقایسه میانگین شاخص DSI و SAUDPC در توده‌های مورد مطالعه خربزه به همراه رگه‌های افتراقی ایزابل و شارنته T به ترتیب به عنوان ارقام شاهد مقاوم و حساس ۳۰ روز پس از مایه‌زنی با نژاد ۱.۲ *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*.

Table 2. Comparison of the mean of DSI and SAUDPC index in the studied landraces of melon along with the differential lines of Isabelle and Charente T as resistant and sensitive control cultivars respectively, 30 days after inoculation with *Fusarium oxyxporum* f. sp. *melonis* race 1.2.

No.	Landrace	DSI (%)	SAUDPC (%)	No.	Landrace	DSI (%)	SAUDPC (%)
1	Hoz sorkh	13.788 ± 1.85	35.97 ± 1071.88	25	Zard Moatar	15.624 ± 2.28	40.07 ± 1190.56
2	Kashefi	15.059 ± 1.87	38.98 ± 1161.56	26	Bakhrfan Sarkhs	13.145 ± 2.6	34.08 ± 1011.79
3	Laki Zard	15.42 ± 1.83	39.73 ± 1183.86	27	Mashhadi Koghak	16.345 ± 2.43	41.69 ± 1238.56
4	Birgand	15.603 ± 1.77	39.75 ± 1184.07	28	Zard Tali	16.549 ± 2.51	41.48 ± 1242.82
5	Laki 1	13.78 ± 1.54	35.91 ± 106.47	29	Tashkandi Bozorg	16.086 ± 2.65	40.15 ± 1192.56
6	Laki 2	16.078 ± 1.69	40.92 ± 1218.75	30	Danab	14.761 ± 2.88	38.07 ± 1113.16
7	Laki Zard 4	16.165 ± 1.65	40.85 ± 1216.57	31	Till	15.278 ± 2.94	39.26 ± 1165.55
8	Chrok Zard	17.255 ± 1.71	43 ± 1280.47	32	Mavolati	15.514 ± 3.02	39.60 ± 1175.6
9	Khaghani	15.843 ± 1.55	39.77 ± 1183.95	33	Ghasri	13.553 ± 3.4	34.65 ± 1027.99
10	Sefid	16.12 ± 1.56	40.76 ± 1213.38	34	Ali Gharib	17.02 ± 3.07	43.19 ± 1282.42
11	Khrbozeh Sarkhs	16.784 ± 1.59	42.38 ± 1261.53	35	Mino 0 95	15.812 ± 3.32	40.54 ± 1203.12
12	Laki 3	14.51 ± 1.44	37.50 ± 1116.04	36	Royan 95	14.949 ± 3.55	38.64 ± 1146.27
13	Zard Moshak Dorosht	15.156 ± 1.49	39.03 ± 1161.54	37	Thaibad 1	12.941 ± 4.02	32.98 ± 977.35
14	Zard 25	14.403 ± 1.49	37.51 ± 1115.95	38	Thaibad 2	14.604 ± 3.84	37.89 ± 1123.82
15	Gabari	14.078 ± 1.52	36.32 ± 1080.32	39	Qaenat	12.622 ± 4.36	32.83 ± 972.67
16	Avishni	13.702 ± 1.58	35.54 ± 1056.77	40	Mashhadi	15.556 ± 3.93	39.70 ± 1177.37
17	Laki Sabz 3	15.459 ± 1.66	39.88 ± 1186.11	41	Khatoni	15.085 ± 4.12	38.27 ± 1134.71
18	Khatoni	14.816 ± 1.72	38.34 ± 1140.1	42	Soski Sabz	15.111 ± 4.24	38.79 ± 1150.1
19	Till Zard	14.039 ± 1.81	36.42 ± 1082.71	43	Till Torgh	14.562 ± 4.47	37.45 ± 1109.76
20	Till Keshideh	12.031 ± 2	31.10 ± 929.89	44	Ghasri Mashhad ×Samsori	14.39 ± 4.63	37.23 ± 1103.03
21	Till Mashhad	14.102 ± 1.98	36.60 ± 1087.87	45	Rashydi Toghermez	15.012 ± 4.87	38.66 ± 1145.46
22	Till Magasi	14.073 ± 2.08	36.58 ± 1087.13	46	Zemestani	15.608 ± 4.87	39.58 ± 1172.59
23	Zard Talai	15.341 ± 2.11	39.68 ± 1179.31	47	Charente T	14.96 ± 4.43	37.74 ± 909.4
24	Laki Zard 1	13.898 ± 2.3	35.77 ± 1062.68	48	Isabel	8.298 ± 6.91	21.42 ± 631.62
DSI	**LSD (5%)**	**2.8877**		**DSI**	**LSD (1%)**	**3.07**	
SAUDPC	**LSD (5%)**	**6.506**		**SAUDPC**	**LSD (1%)**	**7.030**	



شکل ۳- تجزیه خوشه‌ای توده‌های مورد مطالعه خربزه به همراه رگه‌های افتراقی ایزابل و شارنته T به ترتیب به عنوان مقاوم و حساس در پاسخ به نژاد ۱.۲ *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* بر مبنای شاخص‌های LP، AUDPC، DSI و SAUDPC با استفاده از روش Ward و معیار فاصله اقلیدوسی.

Figure 3. Cluster analysis of the studied landraces of melon along with the differential lines of Isabelle and Charente T respectively as resistant and sensitive in response to *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* race 1.2 based on LP, AUDPC, DSI and SAUDPC indices using Ward method and Euclidean distance criterion.

واکاوی نقشه‌ی حرارتی در توده‌های مورد مطالعه

به منظور بررسی جامع پاسخ توده‌های مورد مطالعه تحت تأثیر مایه‌زنی با نژاد ۱.۲ *F. oxysporum* f. sp. *melonis* توسط چهار شاخص LP، AUDPC، DSI و SAUDPC از نقشه حرارتی استفاده گردید. روند کلی مقاومت ژنوتیپ‌ها در قالب نوارهای طیف رنگی مشخص است. نتایج نشان داد که رگه افتراقی ایزابل و توده قائنات (شماره‌های ۴۸ و ۳۹) در مقایسه با سایر توده‌های مایه‌زنی شده با نژاد ۱.۲ *F. oxysporum* f. sp. *melonis* کمتر تحت تأثیر عامل بیماری قرار گرفتند (شکل ۴). بر این اساس مقادیر بالاتر مقاومت به نژاد ۱.۲ *F. oxysporum* f. sp. *melonis* در توده‌های با شاخص LP بیشتر و شاخص‌های AUDPC، DSI و SAUDPC کمتر مشاهده گردید.

بحث

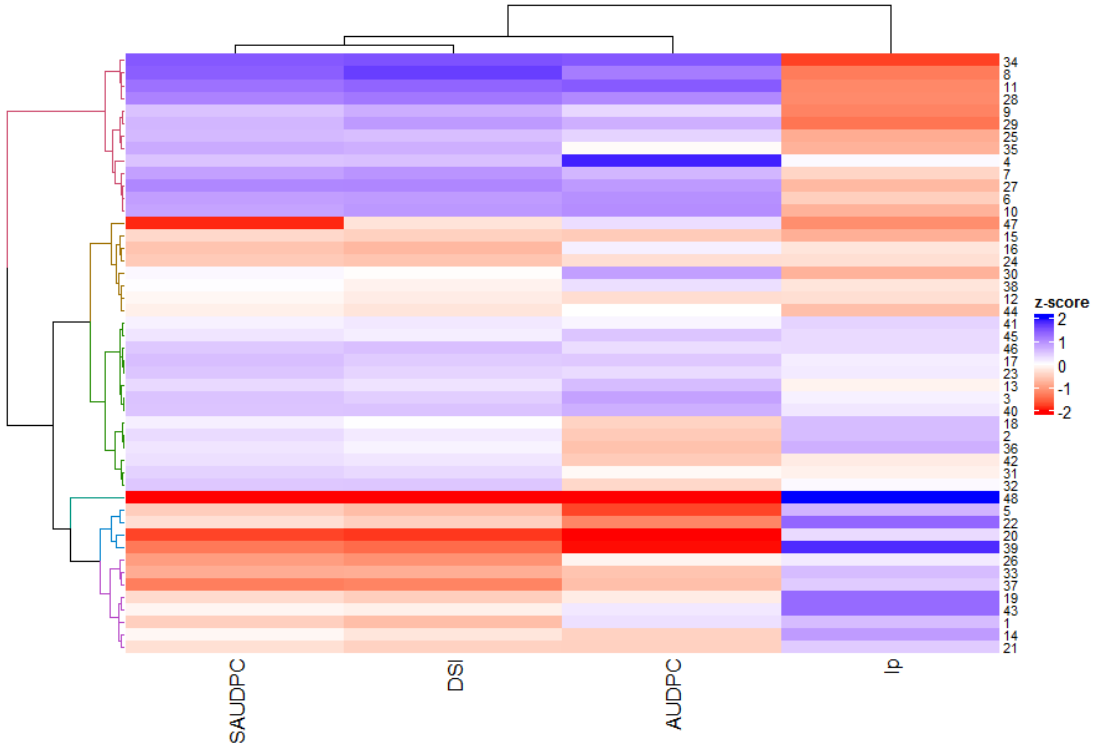
در مطالعه حاضر چهار شاخص LP، AUDPC، DSI و SAUDPC به منظور ارزیابی میزان مقاومت به بیمارگر نژاد ۱.۲ *F. oxysporum* f. sp. *melonis* در ۴۶ توده بومی خربزه جمع‌آوری شده از نقاط مختلف استان‌های خراسان رضوی، شمالی و جنوبی، به همراه دو رگه افتراقی ایزابل و شارنته T به ترتیب شاهد مقاوم و حساس، دریافتی از موسسه INRAe کشور فرانسه، مورد مطالعه قرار گرفت. گونه‌ی *F. oxysporum* یک بیمارگر مهم گیاهی در سراسر دنیا است که باعث پوسیدگی ریشه، غده، طوقه و پژمردگی آوندی در طیف وسیعی از محصولات باغی و گیاهان زینتی از جمله پیاز، کاهو، گوجه فرنگی، خیار، خربزه، نخود و میخک می‌شود (Taylor et al., 2019). بررسی ۱۱۰ توده خربزه از خاستگاه‌های مختلف دنیا برای مقاومت به نژاد ۱.۲ *F. oxysporum* f. sp. *melonis* نشان داده است که منابع گیاهی محدودی برای مقاومت در برابر این قارچ شناسایی شده است (Chikh-Rouhou et al., 2007).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد براساس شاخص‌های LP، AUDPC، DSI و SAUDPC بین توده‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال آماری ۱٪ وجود داشت.

جدول۳- میانگین شاخص‌های LP، AUDPC، DSI و SAUDPC در گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای توده‌های خربزه مورد مطالعه به همراه رگه‌های افتراقی ایزابل و شارنته T به ترتیب به عنوان ارقام شاهد مقاوم و حساس آلوده به نژاد ۱.۲ *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*.

Table 3. The average indices of LP, AUDPC, DSI and SAUDPC in the groups obtained from the cluster analysis of the studied melon landraces along with the differential lines of Isabelle and Charente T as resistant and susceptible control cultivars respectively to *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* race 1.2.

	Group						
Index	1	2	3	4	5	6	Total average
LP	12.36 ± 1.29	13.34 ± 1.40	14.35 ± 1.59	22.73 ± 1.93	16.15 ± 0.52	14.78 ± 0.17	14.424 ± 1.72
AUDPC	143411.3 ± 8338.52	133025.7 ± 8332.69	124637.6 ± 8851.39	77240 ± 10110.81	99970.6 ± 6718.21	116389.4 ± 3037.192	122463.8 ± 8746.08
DSI	16.46 ± 1.02	15.84 ± 1.10	14.77 ± 1.23	8.29 ± 1.48	12.91 ± 0.56	14.41 ± 0.16	14.750 ± 1.36
SAUDPC	4177.7 ± 257.70	4033.346 ± 280.47	3798.514 ± 314.57	21142.7 ± 380.33	3347.52 ± 135.27	3714.567 ± 34.39	3783.352 ± 302.22



شکل ٤- نقشه حرارتی توده‌های مورد مطالعه خربزه به همراه رگه‌های افتراقی ایزابل و شارنته T به ترتیب شاهد مقاوم و حساس در پاسخ به نژاد ۱.۲ *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* براساس شاخص‌های LP، AUDPC، DSI و SAUDPC.

Figure 4. Heat map of the studied melon landraces along with the differential lines of Isabelle and Charente T as resistant and susceptible control cultivars, respectively, in response to *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* race 1.2 based on LP, AUDPC, DSI and SAUDPC indices.

نتایج مقایسه میانگین هر چهار شاخص LP، AUDPC، DSI و SAUDPC حاکی از مقاومت ژنوتیپ ایزابل (شاهد مقاوم) و توده‌های قائنات، تیل مگسی، تیل زرد، تیل طرق، لاکی ۱ و تیل کشیده به نژاد *F. oxysporum* f. sp. *melonis* ۱.۲ در مقایسه با ژنوتیپ شاهد حساس (شارنته T) بود. در تحقیقی به منظور درک ژنتیک مقاومت به نژاد *F. oxysporum* f. sp. *melonis* ۱.۲ در جمعیت‌های بومی خربزه، شاخص‌های AUDPC، DSI و LP در یک تلاقی دی‌آلل شامل والدین و تلاقی‌های F1، مورد ارزیابی قرار گرفت (Rafezi et al., 2018). طبق تحقیق مذکور جمعیت‌های مگسی و چاپالیزی به عنوان جمعیت‌های مقاوم به این بیماری معرفی شدند. براساس سه شاخص AUDPC، DSI و فنل کل ژنوتیپ ایزابل به عنوان مقاوم‌ترین منبع ژنتیکی به نژاد *F. oxysporum* f. sp. *melonis* ۱.۲ معرفی گردیده است (Hanifei et al., 2018). همچنین با استفاده از شاخص AUDPC، در رقم‌های خربزه BG-5384، Shiro Uri Okayama، Kogane Nashi Makuwa و C-211 مقاومت در برابر نژاد *F. oxysporum* f. sp. *melonis* ۱.۲ مشاهده شده است (Chikh-Rouhou et al., 2011).

براساس نتایج تجزیه خوشه‌ای، گروه‌های چهارم، پنجم و ششم به دلیل پایین‌تر بودن شاخص‌های AUDPC، DSI و SAUDPC و بالاتر بودن شاخص LP در مقایسه با میانگین کل دارای مقاومت به نژاد *F. oxysporum* f. sp. *melonis* ۱.۲ می‌باشند. همچنین گروه‌های اول، دوم و سوم به علت بیشتر بودن شاخص‌های AUDPC، DSI و SAUDPC از یک سو و همچنین پایین بودن شاخص LP در مقایسه با میانگین کل دارای حساسیت به نژاد *F. oxysporum* f. sp. *melonis* ۱.۲ ارزیابی می‌شوند. در بین گروه‌های مقاوم، گروه پنجم شامل توده‌های لاکی ۱، تیل مگسی، تیل کشیده و قائنات بعد از ژنوتیپ ایزابل (گروه چهارم) به علت بالا بودن شاخص LP و پایین بودن شاخص‌های AUDPC، DSI و SAUDPC مقاوم‌ترین توده‌ها به نژاد *F. oxysporum* f. sp. *melonis* ۱.۲ بودند. براساس نتایج حاصل علاوه بر ژنوتیپ ایزابل توده‌های مذکور نیز منابع ژنتیکی ارزشمندی در مقاومت به نژاد *F. oxysporum* f. sp. *melonis* ۱.۲ هستند. در بین گروهای حساس به نژاد *F. oxysporum* f. sp. *melonis* ۱.۲، گروه یک شامل توده‌های علی قریب، چروک زرد، خربزه سرخس، زرد طلایی، خاقانی، تاشکندی بزرگ، زرد معطر، مینو ۰۹۵، بیرجند، لاکی زرد ۴، مشهدی کوچک، لاکی ۲ و سفید دارای شاخص LP کمتر و شاخص‌های AUDPC، DSI و SAUDPC بیشتر نسبت به گروه دو که در آن رقم شاهد حساس (شارنته T) وجود داشت، بود که نشان دهنده حساسیت بیشتر این گروه می‌باشد.

نتایج نقشه حرارتی نیز نشان داد ژنوتیپ ایزابل و توده قائنات دارای مقاومت به نژاد *F. oxysporum* f. sp. *melonis* ۱.۲ بودند و توده علی قریب به عنوان حساس‌ترین توده به نژاد *F. oxysporum* f. sp. *melonis* ۱.۲ شناخته شد. در نقشه حرارتی توده‌های مقاوم به رنگ آبی و توده‌های حساس به رنگ قرمز قابل مشاهده هستند. با کاهش شدت رنگ در هر دو طیف آبی و قرمز، توده‌هایی با مقاومت متوسط در هر دو محدوده (مثبت و منفی) مشاهده شد. ژنوتیپ ایزابل و توده قائنات به دلیل شاخص LP به رنگ آبی و شاخص‌های AUDPC، DSI و SAUDPC به رنگ قرمز، بیشترین میزان مقاومت به نژاد *F. oxysporum* f. sp. *melonis* ۱.۲ را به خود اختصاص دادند. همچنین توده علی قریب به علت شاخص LP به رنگ قرمز و شاخص‌های AUDPC، DSI و SAUDPC به رنگ آبی، کمترین میزان مقاومت به نژاد *F. oxysporum* f. sp. *melonis* ۱.۲ را به خود اختصاص داد.

شاخص AUDPC یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی مقاومت به بیمارگر نژاد *F. oxysporum* f. sp. *melonis* ۱.۲ می‌باشد. مقاومت به این بیماری براساس

شاخص AUDPC به صورت چند ژنی به ارث می‌رسد و به علت معنی‌دار بودن اثرات اپیستاتیک، افزایشی و غالبیت، مهار ژنتیکی آن پیچیده می‌باشد (Chikh-Rouhou et al., 2011). وجود سطوح پایین‌تر شاخص AUDPC معیاری از مقاومت میزبان به بیمارگرهای گیاهی شناخته می‌شود (Chikh-Rouhou et al., 2021). همچنین براساس مطالعات انجام شده مقاومت خربزه به بیماری ناشی از Pollack & Uecker *Monosporascus cannonballus* با استفاده از شاخص DSI مورد تأیید قرار گرفته است (Dias et al., 2004). معنی‌داری واریانس افزایشی و غیر افزایشی شاخص DSI نیز در رگه‌های خویش‌آمیز خربزه‌های ژاپنی گزارش شده است (Nakazumi & Hirari, 2004). شاخص LP نیز از دیگر شاخص مطمئن برای بررسی و ارزیابی مقاومت به نژاد ۱.۲ بیماری پژمردگی فوزاریومی شناخته می‌شود و با توجه به معنی‌داری واریانس افزایشی امکان انتخاب ساده‌تر براساس آن وجود دارد. اگرچه شاخص DSI نیز دارای چنین ویژگی‌هایی است اما به دلیل عدم در نظر گرفتن زمان، برای بیماری‌هایی که کنترل تک ژنی دارند، مناسب‌تر به نظر می‌رسد (Rafezi et al., 2018).

بررسی‌ها نشان می‌دهد میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنل کل گیاه نقش تأثیرگذاری در میزان مقاومت به بیمارگر نژاد ۱.۲ *F. oxysporum* f. sp. *melonis* دارد (Madadkhah et al., 2012). در مطالعه‌ای براساس ارزیابی فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان و محتوای فنل کل در گیاه خربزه، ژنوتیپ ایزابل به عنوان مقاوم‌ترین و توده شادگانی به عنوان حساس‌ترین توده به بیمارگر نژاد ۱.۲ *F. oxysporum* f. sp. *melonis* معرفی گردید (Hanifei et al., 2013). همچنین در مطالعه دیگری تغییرات در فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی شامل کاتالاز، کیتیناز، بتا ۱ و ۳ -گلوکاناز، پراکسیداز، فنیل آلانین آمونیاک لیاز، پلی فنل اکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و محتویات فنل کل در ریشه دو گیاه شانته-F1 و خاتونی به عنوان توده‌های مقاوم و شانته تی و شاه آبادی به عنوان دو توده خربزه حساس در برابر نژاد ۱.۲ *F. oxysporum* f. sp. melonis مورد ارزیابی قرار گرفت، نتایج نشان داده است که افزایش فعالیت آنزیم‌های فوق یک عامل کلیدی و مؤثر دفاعی در برابر نژاد ۱.۲ *F. oxysporum* f. sp. *melonis* می‌باشد (Sadeghpour et al., 2022). در مطالعه حاضر مقاوم بودن توده‌های قائنات، تیل مگسی، تیل زرد، تیل طرق، لاکی ۱ و تیل کشیده به بیمارگر نژاد ۱.۲ *F. oxysporum* f. sp. *melonis* می‌تواند ناشی از میزان فعالیت آنتی اکسیدانی و محتوای فنل کل گیاه باشد.

به طور کلی نتایج تحقیق حاضر نشان داد برای هر چهار شاخص LP، AUDPC، DSI و SAUDPC مقاومت به نژاد ۱.۲ *F. oxysporum* f. sp. *melonis* در ژنوتیپ ایزابل به عنوان شاهد مقاوم و توده‌های قائنات، تیل مگسی، تیل زرد، تیل طرق، لاکی ۱ و تیل کشیده نسبت به شاهد حساس (شارنته T) وجود دارد. همچنین نتایج نقشه حرارتی نشان داد که در ژنوتیپ ایزابل و توده قائنات مقاومت به نژاد ۱.۲ *F. oxysporum* f. sp. *melonis* وجود دارد. می‌توان از توده‌های انتخاب شده از نتایج مقایسه میانگین و نقشه حرارتی برای انتقال ژن مقاومت به نژاد ۱.۲ *F. oxysporum* f. sp. *melonis* در برنامه‌های اصلاحی به منظور ایجاد ارقام مقاوم بهره جست.

سپاس‌گزاری

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی مصوب دانشگاه تربیت مدرس در پردیس کشاورزی و حمایت‌های مالی آن انجام شده است. همچنین از جناب آقای دکتر مختار جلالی جواران و جناب آقای دکتر ضیاءالدین بنی‌هاشمی به ترتیب بابت در اختیار گذاشتن بخشی از بذور خربزه مورد مطالعه و جدایه‌ی Mt13-3a از نژاد ۱.۲ *F. oxysporum* f. sp. *melonis* قدردانی می‌گردد.

REFERENCES

Banihashmi, Z. A. (2010). The reaction of *Cucumis melo* cultivars to *F. oxysporum* f. sp. *melonis*, the cause of melon vascular wilt. *Iranian Journal of Plant Pathology*, *46*(1), 11–22. (In Farsi with English summary).

Burgess, L. W., Summerell, B. A., Bullock, S., Gott, K., & Backhouse, D. (1994). *Laboratory manual for* Fusarium *research*. 3rd ed. University of Sydney.

Campbell, C. L. & Madden, L. V. (1990). Temporal analysis of epidemics I: description and comparison of disease progress curves. *Introduction to plant disease eEpidemiology* (pp. 161–202). John Wiley and Sons, Inc.

Chikh-Rouhou, H., Gonzalez Torres, R., & Alvarez, J. M. (2008). Characterization of the resistance to Fom race 1.2 in *Cucumis melo* 'BG-53841', cloning and expression in response to wounding and herbivory. *Plant Physiology*, *124*, 285–295.

Chikh-Rouhou, H., Álvarez, J. M., & González-Torres, R. (2007). Differential interaction between melon cultivars and race 1.2 of *Fusarium oxysporum* f. sp. melonis. Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences, *72*(4), 825–829.

Chikh-Rouhou, H., González-Torres, R., Alvarez, J. M., & Oumouloud, A. (2010) Screening and morphological characterization of melons for resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* Race 1.2. *HortScience*, *45*, 1021–1025. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.7.1021

Chikh-Rouhou, H., González-Torres, R., Oumouloud, A., & Alvarez, J. M. (2011). Inheritance of race 1.2 *Fusarium* wilt resistance in four melon cultivars. *Euphytica*, *182*(2), 177–186. https://doi.org/10.1007/s10681-011-0411-4

Chikh-Rouhou, H., Gómez-Guillamón, M. L., González, V., Sta-Baba, R., & Garcés-Claver, A. (2021). *Cucumis melo* L. germplasm in Tunisia: Unexploited sources of resistance to *Fusarium* wilt. *Horticulturae*, *7*(8), 208–222. https://doi.org/10.3390/horticulturae7080208

Crino, P., Bianco, C., Rouphael, Y., Colla, G., Saccardo, F., & Paratore, A. (2007). Evaluation of rootstock resistance to *Fusarium* wilt and gummy stem blight and effect on yield and quality of a grafted 'Inodorus' melon. *HortScience*, *42*, 521–525.

Dias, R. D., Pico, B., Espinos, A., & Nuez, F. (2004). Resistance to melon vine decline derived from *Cucumis melo* ssp. agrestis: genetic analysis of root structure and root response. *Plant Breeding*, *123*(1), 66–72. https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.2003.00944.x

FAOSTAT, D. (2021). Food and agriculture organization of the United Nations. Statistical database.

Gordon, T.R., Okamoto, D., & Jacobson, D. J. (1989). Colonization of muskmelon and non-host crops by *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* and other species of *Fusarium*. *Phytopathology*, *79*, 1095–1100.

Hanifei, M., Dehghani, H., & Chokan, R. (2013). Genetic diversity of some melon and cantaloupe genotypes infected with Fusarium wilt via antioxidant enzymes activity. *Horticultural Sciences of Iran*, *45*, 115–126. (In Farsi with English summary). https://doi.org/10.22059/ijhs.2014.51954

Hanifei, M., Dehghani, H., & Chookan, R. (2018). Evaluating the resistance of some melon landraces to race 1.2 of melon vascular wilt (Fusarium oxysporum f. sp. melonis). *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, *41*(2), 27–47.

Hanson, L. E., Schwager, S. J., & Loria, R. (1995). Sensitivity to Thiabendazole in *Fusarium* species associated with dry rot of potato. *Phytopathology*, *86*, 378–384.

Liu, S., Gao, P., Zhu, Q., Zhu, Z., Liu, H., Wang, X., Weng, Y., Gao, M., & Luan, F. (2020). Resequencing of 297 melon accessions reveals the genomic history of improvement and loci related to fruit traits in melon. *Plant Biotechnology Journal*, *18*(12), 2545–2558. https://doi.org/_10.1111/pbi.13434

Lotfi, M. & Kashi, A. (1999). The Iranian melon as a new cultivar-group. In taxonomy of cultivated plants. Taxonomy of Cultivated Plants: Third International symposium, Royal Botanic Gardens, Kew, pp. 447–449.

Madadkhah, E., Lotfi, M., Nabipour, A., Rahmanpour, S., Banihashemi, Z., & Shoorooei, M. (2012). Enzymatic activities in roots of melon genotypes infected with *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* race 1. *Science Horticolture*, 135, 171–176. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.11.020

Madden L. V., Hughes, G., & Van den Bosch F. (2007). *Study of plant disease epidemics*. The American Phytopatological Society.

Nakazumi, H. & Hirai, G. (2004). Diallel analysis for resistance of melon (*Cucumis melo*) to *Fusarium* wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* race 1, 2. *Breeding Research*, *6*, 65–70. (In Japanies). https://doi.org/10.1270/jsbbr.6.65

Oumouloud, A., El-Otmani, M., Chikh Rouhou, H., Garcees Claver, A., Gonzaalez Torres, R., Perl Treves, R., & Alvarez, J. M. (2013). Breeding melon for resistance to Fusarium wilt: recent developments. *Euphytica*, *192*, 155–169. https://doi.org/10.1007/s10681-013-0904-4

Perchepied, L. & Pitrat, M. (2004). Polygenic inheritance of partial resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* race 1.2 in melon. *Phytopathology*, *94*, 1331–1336. https://doi.org/ 10.1094/PHYTO.2004.94.12.1331

Rafezi, R., Dehghani, H., & Bani-Hashemi, Z. (2018). Genetic analysis of resistance to vascular wilt race 1.2 in melon (*Cucumis melo* L.) populations native to Iran. *Seedlings and Seeds*, *34*(1), 101–123. (In Farsi). https://doi.org/ 10.22092/SPIJ.2018.118631

Raghami, M., Lopez, A. I., Hasandokht, M. R., Zamani, Z., Moghadam, M. R., & Kashi, A. (2014). Genetic diversity among melon accessions from Iran and their relationships with melon germplasm of diverse origins using microsatellite markers. *Plant Systematics and Evolution*, *1*, 139–151. https://doi.org/ 10.1007/s00606-013-0866-y

Robinson, R. W. & Decker-Walters D. S. (1997) *Cucurbits*. Crop Production Science in Horticulture Series 6. CAB International.

Sadeghpour, N., Asadi-Gharneh, H. A., Nasr-Esfahani, M., Khankahdani, H. H., & Golabadi, M. (2022). Antioxidant enzymes associated with resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* race 1.2 in melon. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, *121*, 101880.

SAS Institute Inc. (2004). SAS version 9.1.3 for windows. SAS Institute, Cary, North.

Sebastiani, M.S., Bagnaresi, P., Sestili, S., Biselli, C., Zechini, A., Orrù, L., Cattivelli, L., & Ficcadenti, N. (2017). Transcriptome analysis of the melon-Fusarium oxysporum f. sp. melonis race 1.2 pathosystem in susceptible and resistant plants. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 362–377.

Sebastian, P., Schaefer, H., Telford, I. R., & Renner, S. S. (2010). Cucumber (*Cucumis sativus*) and melon (*C. melo*) have numerous wild relatives in Asia and Australia, and the sister species of melon is from Australia. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, *107*, 14273–14269. https://doi.org/ 10.1073/pnas.1005338107

Taylor, A., Armitage, A. D., Handy, C., Jackson, A. C., Hulin, M. T., Harrison, R. J., & Clarkson, J. P. (2019). Basal rot of narcissus: Understanding pathogenicity in *Fusarium oxysporum* f. sp. narcissi. *Frontiers in Microbiology*, *10*, 2905–2922.

Timuri, S., Rahnama, K., Shahri, H. M., & Afzali, H. (2012). Identification, distribution and pathogenicity of *Fusarium* species isolated from the root and crown of cantaloupe and melon in Razavi Khorasan province. *Plant Diseases Research Quarterly*, *4*, 35–46. (In Farsi with English summary).

© 2023 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/.

Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)
46(1), Spring, 2023

10.22055/ppr.2023.42655.1673

Evaluation of quantitative resistance to Fusarium wilt race 1.2 in landraces of melon using disease index parameters

A. Bozorgmehr[1], M. S. Sabet[2*], M. A. Malboobi [3], A. Moieni[2]

1. Ph.D. student, Department of Plant Genetics and Breeding, Agricultural College, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2. ***Corresponding Author:** Associate Professor, Department of Plant Genetics and Breeding, Agricultural College, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (ms.sabet@modares.ac.ir)
3. Professor, Department of Plant Biotech, National Institute of Genetic Engineering and Biotechnology, Tehran, Iran

Received: 13 January 2023 Accepted: 3 April 2023

Abstract

Background and Objectives

Fusarium wilt disease is one of the most important diseases of melon, which causes damage between 20 and 80% in melon fields. In favorable conditions, the spread of the disease can reach 100%. In the improvement programs, achieving resistant cultivars is considered one of the most important methods of controlling this disease.

Materials and Methods

In this research, 46 melon landraces were collected from different parts of Razavi, Northern and Southern Khorasan provinces, along with two separate lines, Isabel and Charente T respectively as resistant and sensitive control cultivars to identify new sources of wilt disease resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*. The experiments were carried out in a randomized complete block design with three replications in the greenhouse of the agricultural campus of Tarbiat Modares University. The seeds were grown in trays containing cocopeat and perlite in a ratio of 2:1; fourteen days after cultivation, the roots of the young seedlings were removed from the culture tray and inoculated for two minutes with the isolate Mt13-3a of *F. oxysporum* f. sp. *melonis* race 1.2 spore suspension solution, with a concentration of 10^6 conidium per milliliter. The symptom was evaluated nine days after inoculation. The spread of symptoms on the plants was recorded every day for 30 days until the complete death of the plant. Evaluation of resistance was calculated using the indices of the area under the disease progress curve (AUDPC), latent period (LP), disease severity index (DSI), and standardized area under the disease progress curve (SAUDPC) in landraces. Investigating the variation of the resistance of the studied landraces based on the mentioned indices was done using analysis of variance and cluster analysis.

Results

The results of the analysis of variance of the data indicated the existence of a significant difference of 1% between the landraces for all four studied indices. Based on the heat map results, there is resistance to race 1.2 of *F. oxysporum* f. sp. *melonis* in the genotype Isabel and Tude Qaenat. Also, the cluster analysis of landraces based on Ward's method

led to identifying six resistance groups from the 46 landraces studied, along with two differential control lines.

Discussion

The results of the present research showed that for all four indices of LP, AUDPC, DSI and SAUDPC, there is resistance to race 1.2 of *F. oxysporum* f. sp. *melonis* in Isabel genotype as a resistant control and the landraces of Qaenat, Till Magasi, Till Zard, Till Torgh, Laki 1 and Till Keshideh compared to the sensitive control (Charente T).

Keywords: Area under disease progress curve, Cluster analysis, Cucurbits, Differential Line, Disease severity index, Latent period, Vascular wilt.

Associate editor: R. Mostowfizadeh-Ghalamfarsa (Prof.)

Citation: Bozorgmehr, A., Sabet, M.S., Malboobi, M.A. & moieni, A. (2023). Evaluation of quantitative resistance to Fusarium wilt race 1.2 in landraces of melon using disease index parameters. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), 46*(1), 57-71. https://doi.org/ 10.22055/ppr.2023.42655.1673.