

ROLUL GENOTIPULUI ȘI AL AGENȚILOR VIRALI ÎN FORMAREA TOLERANȚEI TOMATELOR LA TEMPERATURI RIDICATE

CZU: 635.64:581.33:575.2

DOI: <https://doi.org/10.52673/18570461.24.3-74.02>Doctor în științe biologice, conferențiar cercetător **Tatiana SALTANOVICI**E-mail: tatiana.saltanovici@sti.usm.mdORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1122-7433>Doctor habilitat în științe biologice, conferențiar cercetător **Larisa ANDRONIC**E-mail: larisa.andronic@sti.usm.mdORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2761-9917>Cercetător științific **Ludmila ANTOCI**E-mail: ludmila.antoci@sti.usm.mdORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-4855-6544>Cercetător științific stagiar **Ana BULDUMAC**E-mail: ana.buldumac@sti.usm.mdORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9674-0403>

Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor, USM

THE ROLE OF GENOTYPE AND VIRAL AGENTS IN THE FORMATION OF TOMATO TOLERANCE TO HIGH TEMPERATURES

Summary. Research results are presented to determine the sources of variation that cause microgametophyte variability in the progeny of plants reinfected with viruses (Tobacco Mosaic Virus/TMV or Tomato Aspermy Virus/TAV) under high temperatures. The heat treatment of pollen grains contributed to the modifications of the functional characteristics, which in most cases were manifested by inhibitory effects. The factors that cause the variation of genotype characteristics at the diploid and haploid levels have been established. It was demonstrated that the reaction of the analyzed genotypes to the heat treatment at the seed germination stage was controlled by the genotype as major influence, and heat factor, which enhances the efficient identification of tolerant forms. Genotypes that showed high reproductive potential under high temperatures were highlighted. It was established that the descendants of the infected plants at the male gametophyte and sporophyte stages exceeded the control values according to the level of heat stress tolerance, which is due to the elimination of the pollen grains with reduced viability from the host plant in the previous generation. Thus, the application of gametic selection methods in breeding programs is of major importance for reducing the negative action of high temperatures, both in healthy and virus-infected/reinfected plants and their progeny.

Keywords: tomato, pollen grain, temperature stress, virus, source of variation, thermoresistance.

Rezumat. Sunt prezentate rezultatele cercetărilor privind determinarea surselor de variație ce provoacă variabilitatea microgametofitului la descendenții plantelor reinfectate cu virusuri (virusul mozaicului tutunului/VMT sau virusul aspermiei tomatelor/VAT) pe fond de temperaturi ridicate. Tratarea termică a grăuncioarelor de polen a contribuit la modificarea caracteristicilor funcționale ale microgameților, care în majoritatea cazurilor s-a manifestat prin efecte inhibitoare. Au fost stabiliți factorii ce provoacă variația caracteristicilor genotipurilor la nivel diploid și haploid. S-a demonstrat că reacția genotipurilor analizate la tratarea termică la etapa de germinare a semințelor a fost controlată de influența majoră a genotipului și a factorului termic, fapt ce sporește gradul de identificare eficientă a formelor tolerante. Au fost evidențiate genotipuri care pe fond de temperaturi ridicate au manifestat potențial înalt de reproducere. S-a stabilit că la etapa de gametofit mascul și sporofit, descendenții plantelor infectate au depășit valorile martorului după nivelul de termorezistență, fapt ce se datorează eliminării de planta-gazdă din generația precedentă a grăuncioarelor de polen cu viabilitatea redusă. Astfel, aplicarea metodelor selecției gametice în programele de ameliorare are o importanță majoră pentru diminuarea acțiunii negative a temperaturilor ridicate atât la plantele sănătoase, cât și la cele infectate/reinfectate cu virusuri și descendenții acestora.

Cuvintele-cheie: tomate, polen, stres de temperatură, virusuri, sursă de variație, termorezistență.

INTRODUCERE

Deși succesele selecției clasice de obținere a genotipurilor rezistente la factorii biotici și abiotici sunt incontestabile, problema rezistenței complexe, inclusiv la temperaturi ridicate și la virusuri nu este suficient studiată. Condițiile climatice variabile influențează semnificativ asupra manifestării infecțiilor virale [1], fiecare plantă având capacitatea de a se adapta la aceste condiții în limitele determinate de genotip, ceea ce este condiționat de însușirea de a modula metabolismul în condiții de stres, prezentând o plasticitate mai largă asociată cu capacitatea de adaptare mai mare [2]. În cazul când temperaturile mediului depășesc intervalul optim de creștere al unei specii de plante, se atestă tulburări metabolice care pot declanșa procese moleculare prin mecanisme ce influențează adaptivitatea și rezistența plantelor [1]. Este cunoscut faptul că impactul temperaturilor ridicate afectează majoritatea culturilor în timpul creșterii vegetative, dar multe culturi, inclusiv orezul, porumbul, soia, floarea-soarelui și tomatele sunt și mai vulnerabile la etapa de reproducere [3-6].

În acest sens, vom sublinia că productivitatea majorității culturilor agricole este strâns asociată cu parcurgerea reușită a etapelor formării sferei reproductivă. S-a stabilit că etapele de dezvoltare a gametofitului mascul sunt îndeosebi sensibile la condițiile climatice nefavorabile și la stresuri biotice, a căror acțiune provoacă adesea modificări morfologice, structurale și metabolice ale microgametofitului, ceea ce în unele cazuri determină o scădere semnificativă a fertilității plantelor [7; 8]. Conform datelor din literatură [9], specificul metabolismului unei flori poate afecta în mod semnificativ direcția și nivelul selecției interne, eliminarea gameților și zigoților recombinanți, fapt ce este asociat cu particularitățile sistemelor de reproducere.

A fost constatat că sistemul reproductiv la diferite stadii de dezvoltare se caracterizează prin termostabilitate variată. Astfel, etapele de formare a polenului sunt mai sensibile la acțiunea temperaturilor ridicate, în timp ce gametofitul feminin este mai rezistent la stresul termic. Cercetătorii au observat că cea mai mare susceptibilitate la temperaturi extreme se atestă atât în timpul dezvoltării și germinării polenului, cât și în timpul creșterii tuburilor polenice, ceea ce provoacă mai multe efecte negative, inclusiv diminuarea procentului de legare a semințelor și fructelor [4; 7; 10]. Având în vedere faptul că la unele culturi temperatura ridicată (36-40 °C) blochează funcționalitatea microgametofitului, cercetătorii recomandă să fie luat în considerare rolul negativ al acestui factor asupra

activității polenului la diferite etape ale procesului ameliorativ [11-13]. Astfel, evaluarea termorezistenței genotipurilor la nivel haploid prezintă un interes deosebit pentru realizarea eficientă a programelor de ameliorare [7]. În scopul susținerii procesului de evidențiere a materialului semincer și selectării metodelor adecvate pentru desfășurarea unui *screening* eficient, a fost analizată arhitectura genetică a mai multor caractere asociate cu termorezistența (numărul grăuncioarelor de polen și al inflorescențelor, viabilitatea polenului, lungimea pistilului, legarea fructelor și altele), drept rezultat au fost cartografați loci asociați cu aceste caractere [14; 15].

Este cunoscut faptul că în timpul cultivării plantelor în condiții nefavorabile în unele cazuri se atestă majorarea infectării acestora cu diferiți fitopatogeni, inclusiv cu virusuri, condițiile climaterice fiind factorii principali în manifestarea infecțiilor virale. În plus, acțiunea agenților virali și stresurile abiotice provoacă modificări similare ale căilor de semnalizare, care schimbă interacțiunea *plantă x virus*, inhibă mecanismul de protecție a plantei-gază și, în majoritatea cazurilor, sporește sensibilitatea acesteia [16]. Potrivit lui J. Chojak-Koźniewska, E. Kuźniak, J. Zimny [17], în asemenea condiții complicate acțiunea factorului abiotic poate provoca, între plantă și patogen, interacțiuni atât pozitive, cât și negative, fapt ce contribuie la majorarea/micșorarea simptomelor de îmbolnăvire a plantelor. Se consideră că reacția genotipurilor la acțiunea stresurilor polifactoriale nu poate fi comparată cu reacția la stresul solitar. Influența concomitentă a factorilor contribuie la apariția reacțiilor biochimice complexe, deoarece răspunsul plantelor la astfel de stresuri este controlat de diferite semnale și căi metabolice ce pot interacționa. Rezultatele cercetărilor efectuate de S. Zandalinas, S. Sengupta, B. Felix et al. [18] cu aplicarea stresurilor bi- și trifactoriale au demonstrat posibilitatea acestora de a interacționa și influența negativ asupra dezvoltării și creșterii plantelor, inclusiv în cazul acțiunii nesemnificative a stresului.

Luând în considerare faptul că în literatura de specialitate informația privind reacția descendenților de tomate, obținuți de la plantele reinfectate cu patogeni virali, la acțiunea factorilor abiotici este limitată, am realizat studiul privind evaluarea termorezistenței la etapa de gametofit mascul și sporofit (etapa de germinare a semințelor) a descendenților de tomate, obținuți de la plantele reinfectate cu virusuri.

Scopul cercetărilor realizate a inclus determinarea rolului genotipului și al agenților virali în formarea termorezistenței descendenților de tomate, obținuți de la plantele reinfectate cu virusuri.

MATERIALE ȘI METODE

Experiențele au fost realizate în condiții de laborator și solariu al Institutului de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor. În calitate de material experimental au fost utilizate următoarele variante experimentale: plante de tomate obținute în condiții de reinfecție cu virusul mozaicului tutunului (VMT) sau cu virusul aspermiei tomatelor (VAT) și descendenții (VMT2/VAT2) soiurilor: Mary Gratefully, Veneț, Flacăra, Rufina (varianțe-martor, reinfecție VMT, reinfecție VAT) și forma spontană: *Solanum pimpinellifolium* (varianțe-martor, reinfecție VMT, reinfecție VAT). În scopul aprecierii calității polenului au fost colectate flori de la descendenții genotipurilor reinfectate și varianta-martor. Aprecierea reacției gametofitului mascul la acțiunea temperaturii înalte a fost realizată prin tratarea grăuncioarelor de polen în termostat cu temperatura de 40 °C timp de 3 ore. Viabilitatea gametofitului mascul a fost determinată prin cultivarea grăuncioarelor de polen în termostat cu regim termic optim de 26-28 °C pe mediu nutritiv artificial, care conține soluție apoasă de zaharoză – 15% și acid boric – 0,006%. În baza studiului microscopic au fost evaluați următorii indici: viabilitatea și termorezistența polenului; lungimea și rezistența tuburilor polenice (TP). La etapa de germinare a semințelor identificarea termorezistenței descendenților plantelor reinfectate cu virusuri a fost realizată conform metodei Ивакин [19]. Analizele statistice ale datelor obținute au fost efectuate cu ajutorul programelor Statgraphics 5.0; Excel 2013. Pentru aprecierea ponderii genotipului, factorilor stresogeni și interacțiunii acestora în variația caracterelor analizate a fost aplicată analiza dispersională polifactorială (ANOVA).

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Se cunoaște că unele caractere determinate experimental, inclusiv viabilitatea polenului, pot fi aplicate pentru monitorizarea termorezistenței. Capacitatea

grăuncioarelor de polen de a păstra un nivel înalt al viabilității și fertilității în condiții de stres termic este o condiție importantă pentru finalizarea reușită a proceselor de fertilizare și legare a fructelor. În urma cercetărilor noastre privind influența temperaturii ridicate asupra gametofitului mascul la descendenții plantelor reinfectate cu VMT/VAT, a fost stabilită reducerea viabilității acestuia în medie cu 9,3% în raport cu varianta-martor. Genotipurile studiate la nivel haploid au reacționat în mod specific: la descendenții VMT2/VAT2 ai soiurilor Veneț, Mary Gratefully, Flacăra, cât și Rufina VMT2 a fost stabilită diminuarea viabilității polenului cu 3,4...30,0%, deci a fost atestat un efect inhibitor. Totodată, la soiul Rufina VAT2 și la forma spontană *S. pimpinellifolium* VMT2/VAT2 valorile acestui caracter au depășit martorul cu 6,1...13,8%, fapt ce demonstrează manifestarea impactului stimulator (figura 1).

Având în vedere faptul că viabilitatea polenului este un indicator al reacției gametofitului mascul la stresul termic, datele obținute pot fi utilizate pentru caracterizarea genotipurilor cu grad diferit de termorezistență. În același timp, a fost stabilit că acțiunea temperaturii ridicate în majoritatea cazurilor a contribuit la reprimarea procesului de creștere a tuburilor polenice, reducând dimensiunile acestora în medie de 1,4...1,7 ori comparativ cu varianta-martor. La descendenții soiurilor Veneț VMT2/VAT2 și Flacăra VAT2 a fost constatat cel mai mare efect inhibitor de 2,4 și, respectiv, de 1,9 ori, totodată, descendenții soiului Mary Gratefully VAT2 s-au evidențiat prin stabilitatea valorilor acestui caracter (figura 1). Astfel, genotipurile analizate la etapa respectivă se caracterizează prin viteză diferită de creștere a tuburilor polenice. Conform datelor din literatură, diferențele după viteza de creștere a tuburilor polenice și competitivitatea specifică a microgametilor sunt determinate de diversitatea genetică a polenului, fapt ce generează varietatea genotipică și modificațională a sporofitului [9].

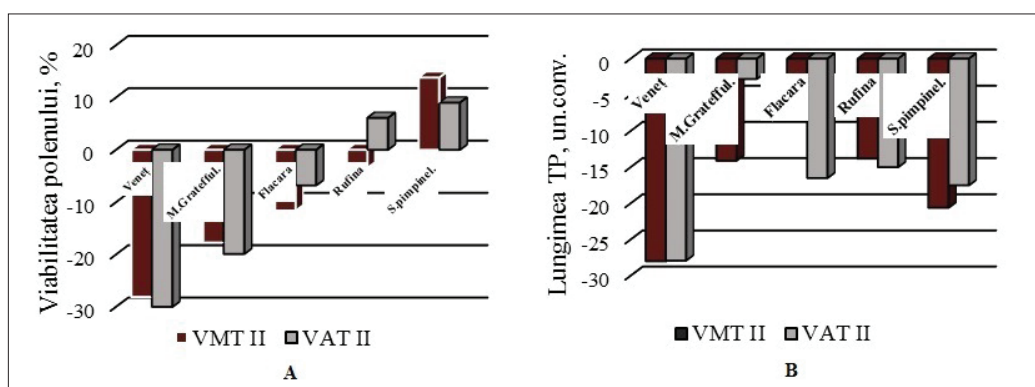


Figura 1. Influența temperaturii asupra modificării indicilor polenului la descendenții plantelor reinfectate cu virusuri: A – viabilitatea polenului; B – lungimea tuburilor polenice.

Rezultatele aplicării testului ANOVA privind elucidarea surselor de variație a indicilor gametofitului mascul în condiții de temperatură ridicată denotă că variația viabilității polenului a fost determinată prioritar de acțiunea genotipului – 27,7...36,5% și interacțiunea acestuia cu factorul termic – 32,2...29,5%. În structura generală a variabilității după indiciul dat, cota de influență comună a acestor surse a constituit 59,9...66,0%. Modificarea lungimii tuburilor polenice a fost controlată de acțiunea majoră a temperaturii – 74,0...76,1% (tabelul 1). Ca urmare a comparării surselor de variație la plantele reinfectate VMT2/VAT2 și la descendenții acestora, s-a constatat că variabilitatea caracterelor gametofitului mascul a fost determinată de acțiunea factorilor similari. Astfel, genotipul și interacțiunea lui cu temperatura au o pondere semnificativă în norma de reacție a grăuncioarelor de polen la stres. Totodată, în reacția tuburilor polenice contribuția temperaturii a depășit acțiunea genotipului de 5,8...9,5 ori, fapt ce poate provoca modificări semnificative în activitatea grăuncioarelor de polen în condiții de temperaturi ridicate.

Având în vedere faptul că diversitatea mare de soiuri creează dificultăți în procesul identificării eficiente a genotipurilor tolerante, se recomandă aplicarea metodelor (instrumentelor) performante pentru evidențierea diferențelor dintre genotipuri, ceea ce va permite includerea eficientă a materialului selectat

în procesul ameliorativ. O modalitate de soluționare a acestei probleme poate constitui analiza structurii spectrelor de variabilitate pentru fiecare genotip individual, în acest caz, cu cât ponderea unui factor în variabilitatea depistată este mai mare, cu atât genotipul este mai vulnerabil (sensibil).

Astfel, rezultatele examinării structurii spectrelor de variație a indicilor gametofitului mascul, individual pentru fiecare genotip, au scos în evidență diferențe semnificative ($p < 0,001$) în ceea ce privește contribuția factorilor asupra variabilității caracterelor studiate. Printre genotipurile analizate la descendenții soiului Veneț VMT2/VAT2 la această etapă a fost stabilită cea mai înaltă receptivitate termică, deoarece ponderea temperaturii în spectrele de variație a polenului și tuburilor polenice a depășit 76,0% (figura 2). La celelalte genotipuri incluse în studiu ponderea factorului termic în modificarea indicilor studiați a fost de 2,1...8,2 ori mai redusă, ceea ce relevă o sensibilitate termică mai mică. Aceste rezultate pot fi recomandate pentru limitarea utilizării descendenților soiului Veneț VMT2/VAT2 în condiții de temperaturi ridicate. De menționat că în majoritatea cazurilor descendenții VMT2 și VAT2 au demonstrat o sensibilitate termică identică sub aspectul ponderii factorilor în variația viabilității polenului.

Conform mai multor cercetători [20], calitatea gametofitului mascul în condiții de temperatură ridicată este un indicator important pentru caracteriza-

Tabelul 1

Surse de variație a indicilor gametofitului mascul la descendenții plantelor reinfectate VMT/VAT în condiții de temperatură ridicată

Sursa de variație	Viabilitatea polenului			Lungimea tuburilor polenice		
	Gradul de libertate	Suma pătratelor efectelor	CSV, %	Gradul de libertate	Suma pătratelor efectelor	CSV, %
Descendenții VMT2						
Genotip	4	8866*	36,5	4	3022*	12,8
VMT2	1	672*	11,1	1	237*	4,02
Temperatură	1	1326*	21,8	1	4365*	74,0
Interacțiunea factorilor	13	7156*	29,5	13	1893*	9,1
Efecte aleatorii	40	2541*	1,0	40	104,3*	0,04
Descendenții VAT2						
Genotip	4	8306*	27,7	4	1625*	8,0
VAT2	1	1915*	25,5	1	84*	1,7
Temperatură	1	1038*	13,8	1	3844*	76,1
Interacțiunea factorilor	13	9514*	32,2	13	2791*	13,7
Efecte aleatorii	40	2530*	0,8	40	100*	0,5

Notă: * – $p < 0,05$

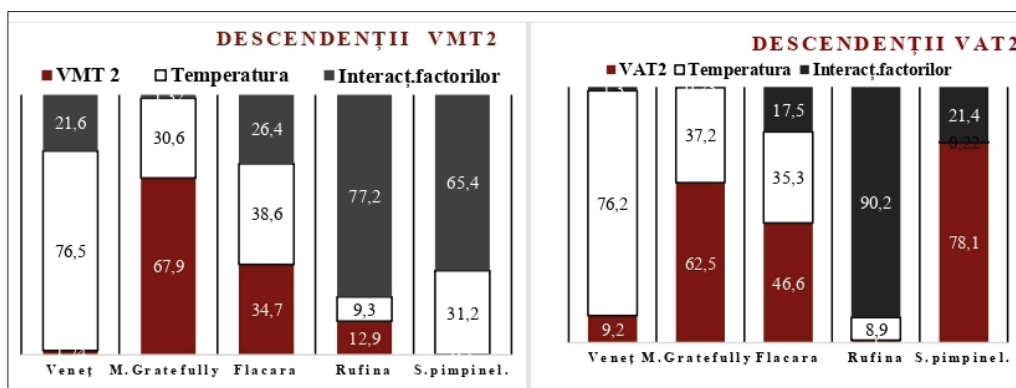


Figura 2. Structura spectrelor de variație a viabilității polenului pe fond de stres termic.

rea termorezistenței plantelor. Pornind de la aceasta, am examinat valorile termorezistenței polenului la descendenții plantelor reinfectate. S-a constatat că la genotipurile din varianta-martor valoarea medie a acestui caracter a constituit 67,3%, deși la descendenții VMT2/VAT2 nivelul de termorezistență a fost mai mare cu 22,4 și, respectiv, 46,4%. Totodată, rezistența tuburilor polenice la descendenții VMT2 a fost mai redusă față de martor cu 6,8%, deși la descendenții VAT2 nu au fost stabilite diferențe semnificative în comparație cu martorul (figura 2). Printre genotipurile investigate s-au evidențiat urmașii VMT2 Mary Gratefully, VMT2 *S. pimpinellifolium* și Rufina VMT2/VAT2, care au îmbinat nivelul înalt de termorezistență a polenului și a tuburilor polenice. Paupière și colab. [20] au constatat că genotipurile termorezistente și termosensibile pot reacționa specific la acțiunea stresului termic, fapt ce poate fi asociat cu diferite profiluri de acumulare a metaboliților cu rol important în timpul dezvoltării polenului.

Astfel, la descendenții plantelor reinfectate cu virusuri estimarea funcționalității microgametofitului în condiții de temperatură ridicată are o importanță majoră pentru evidențierea și selectarea genotipurilor tolerante în condiții de schimbări climatice.

Este cunoscut faptul că în procesul ameliorativ, pentru evidențierea genotipurilor termorezistente în majoritatea cazurilor se aplică metoda de determinare a rezistenței la arșiță după reacția germinilor [20]. În cercetările noastre am utilizat această metodă în scopul aprecierii nivelului de termorezistență a descendenților de tomate, obținuți de la plantele reinfectate VMT/VAT. A fost stabilit că la majoritatea descendenților VMT2/VAT2 în condiții termice optime lungimea radiclei s-a redus cu 10,5...27,4% în raport cu varianta-martor. În urma acțiunii temperaturii ridicate, la aceste genotipuri a fost înregistrată diminuarea dimensiunilor radiclelor cu 26,0% pentru descendenții VMT2 și 70,0% pentru descendenții VAT2. În cercetările precedente, la descendenții plantelor primar infectate, de asemenea, s-a stabilit că tratarea termică diminuează lungimea radiclelor cu 28,5...29,4% față de martor, deci, descendenții plantelor reinfectate au reacționat în mod similar.

În baza analizei distribuției germinilor după lungimea radiclelor, după tratarea termică (43°C), în majoritatea cazurilor a fost constatată diminuarea frecvenței de apariție a radiclelor cu dimensiuni mari, cu excepția s. Rufina VMT2, la care amplitudinea variației după acest caracter a depășit valorile martorului (figura 3).

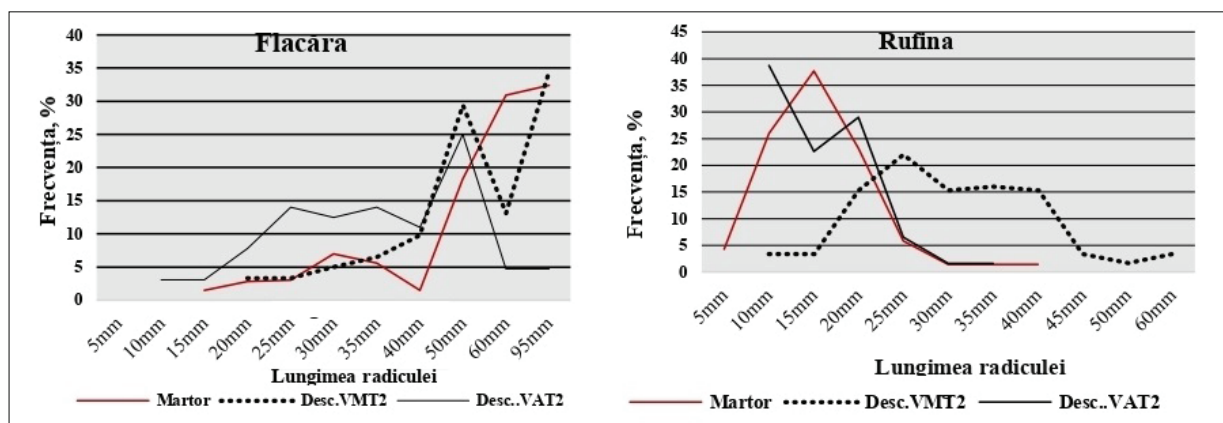


Figura 3. Histogramele de distribuție a descendenților VMT2/VAT2 de tomate, obținuți de la plantele reinfectate pe baza lungimii radiclelor sub influența temperaturii ridicate (43 °C).

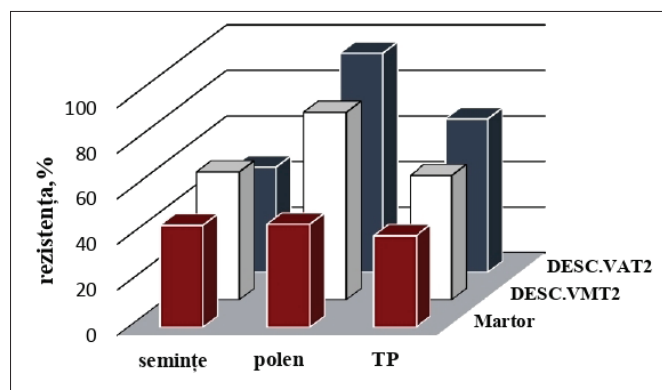


Figura 4. Termorezistența gametofitului mascul și sporofitului de tomate la descendenții plantelor reinfectate (descendenții VMT2 și VAT2).

Nivelul de termorezistență al germinilor din varianta-martor a variat în funcție de genotip în limitele 30,1...55,1%, iar valoarea medie a acestui caracter a constituit 44,7%. Descendenții VMT2 au demonstrat depășirea nivelului de termorezistență cu 11,3% în raport cu martorul. Astfel, valorile acestui indiciu în funcție de genotip au variat de la 45,9 până la 61,6%, iar la descendenții VAT valoarea a fost la nivelul martorului și a constituit 44,2%.

Rezultatele aplicării testului ANOVA au demonstrat că acțiunea genotipului, temperaturii și interacțiunii acestora asupra variabilității termorezistenței germinilor a fost veridică ($p < 0,001$). Astfel, pentru descendenții VAT2 s-a stabilit că în variația acestui caracter contribuția principală îi aparține genotipului 73,4%, fapt ce are importanță practică, întrucât sporește posibilitatea identificării genotipurilor rezistente; interacțiunea *genotip x temperatura* a constituit 22,6%. La descendenții VMT2 acțiunea temperaturii a determinat 70,0% a variabilității termorezistenței, în timp ce contribuția genotipului a fost de 4,1 ori mai slabă și a constituit 17,2%.

În baza analizei nivelului de termorezistență a germinilor s-a constatat că genotipurile din varianta-martor posedă cea mai mică rezistență – 44,7%, totodată, descendenții VMT2 manifestă valori mai mari cu 11,3% ale acestui caracter, deși la descendenții VAT2 termorezistența a constituit 46,8%. Printre genotipurile analizate cu o termorezistență înaltă s-au evidențiat soiurile Veneț, Flacăra și forma spontană *S. pimpinellifolium*.

În baza generalizării datelor obținute la etapa de gametofit și sporofit, putem constata că descendenții VMT2/VAT2 după indicii gametofitului mascul au depășit valorile martorului de 1,4...1,8 ori (pentru rezistența polenului) și de 1,7...2,1 ori (pentru rezistența tuburilor polenice). La nivel de sporofit descendenții VMT2, de asemenea, au manifestat majorarea rezistenței în raport cu martorul (figura 4).

Astfel, descendenții VMT2/VAT2 au depășit după nivelul de termorezistență valorile martorului atât la etapa de gametofit mascul, cât și la etapa de sporofit, fapt ce se datorează eliminării grăuncioarelor de polen cu viabilitatea redusă pe planta-gazdă, care prezintă fond intern de selecție, iar rezultatul înregistrat de majorare a rezistenței este asigurat de grăuncioarele de polen cu viabilitate înaltă.

CONCLUZII

- Tratarea termică a grăuncioarelor de polen la descendenții plantelor reinfectate cu VMT/VAT a contribuit la modificarea caracteristicilor funcționale ale microgameților, care în majoritatea cazurilor s-au exprimat prin efecte inhibitoare, cu excepția s. Rufina VAT2 și *S. pimpinellifolium* VMT2/VAT2, care au înregistrat reacții stimulativă.

- Genotipul și interacțiunea factorilor au avut o contribuție majoră în variația viabilității polenului, iar factorul termic a acționat decisiv asupra modificării lungimii tuburilor polenice. Variabilitatea termorezistenței la descendenții VAT2 a fost influențată prioritar de genotip, fapt care are importanță practică, întrucât sporește posibilitatea identificării formelor rezistente.

- Descendenții VMT2 Mary Gratefully, *S. pimpinellifolium* și Rufina VMT2/VAT2 au manifestat pe fond de temperaturi ridicate un potențial înalt de reproducere.

- La etapa de germinare a semințelor, reacția genotipurilor la tratarea termică a fost controlată de influența majoră a genotipului și a factorului termic (peste 70,0%), fapt ce contribuie la majorarea gradului de evidențiere eficientă a formelor rezistente.

- Descendenții VMT2/VAT2, la etapa de gametofit mascul și sporofit, au depășit după nivelul de termorezistență valorile martorului, ceea ce se datorează eliminării grăuncioarelor de polen cu viabilitate redusă pe planta-gazdă, care prezintă fond intern de selecție,

asigurând participarea în procesul de fecundare a grăuncioarelor de polen cu viabilitatea înaltă, determinând majorarea toleranței.

- Aplicarea metodelor selecției gametice în programele ameliorative are o importanță majoră pentru diminuarea acțiunii negative a temperaturilor ridicate atât la plantele sănătoase, cât și la plantele infectate/reinfectate cu virusuri și descendenții acestora.

BIBLIOGRAFIE

1. Tsai, W., Brosnan, C., Mitter, N. et al. Perspectives on plant virus diseases in a climate change scenario of elevated temperatures. In: *Stress Biology*, 2022, vol. 2, 37, doi: <https://doi.org/10.1007/s44154-022-00058-x>
2. Fedulov, Y., Kotlearov, I., Dotsenko, K. Ustoychivosti rasteniy k neblagopriyatnym faktoram sredy. Krasnodar: KubGAU, 2015. 64 p.
3. Jagadish, K. Heat stress during flowering in cereals – effects and adaptation strategies. In: *New fitologist*, 2020, vol. 6, doi: <https://doi.org/10.1111/nph.16429>
4. Zinn, K., Tunc-Ozdemir, M., Harper, J. Temperature stress and plant sexual reproduction: uncovering the weakest links. In: *J Exp Bot.*, 2010, vol. 61(7), 1959-1968, doi: [10.1093/jxb/erq053](https://doi.org/10.1093/jxb/erq053).
5. Barnabás, B., Jäger, K., Fehér, A. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. In: *Plant Cell Environ.* 2008, vol. 31(1), 11-38, doi: [10.1111/j.1365-3040.2007.01727.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01727.x)
6. Hedhly, A., Hormaza, J., Herrero, M. Global warming and sexual plant reproduction. In: *Trends Plant Sci.*, 2009, vol. 14, 30-36, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.11.001>
7. Mesihovic, A., Iannacone, R., Firon, N. et al. Heat stress regimes for the investigation of pollen thermotolerance in crop plants. In: *Plant Reproduction*, 2016, vol. 29(1-2), 93-105, doi: <https://doi.org/10.1007/s00497-016-0281-y>
8. De Storme, N., Geelen, D. The impact of environmental stress on male reproductive development in plants: biological processes and molecular mechanisms. In: *Plant Cell Environ.* 2014, vol. 37(1), 1-18, doi: <https://doi.org/10.1111/pce.12142>
9. Zhuchenko-jr. A. Optimization off the accounting unit in hybridization analysis in order to obtain new information abot recombination processes. In: *Vestnik agrarnoy nauky*, 2023, vol. 4 (103). 3-9, doi: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2023.4.3>
10. Lohani, N., Singh, M., Bhalla, P. High temperature susceptibility of sexual reproduction in crop plants. In: *J. Expt. Bot.*, 2020, vol. 71(2), 555-568, doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/erz426>
11. Zhang, C., Li, G., Chen, T. et al. Heat stress induces spikelet sterility in rice at anthesis through inhibition of pollen tube elongation interfering with auxin homeostasis in pollinated pistils. In: *Rice*, 2018, no. 14, doi: <https://doi.org/10.1186/s12284-018-0206-5>
12. Masoomi-Aladizgeh, F., Najeeb, U., Sara Hamzelou, S. et al. Pollen development in cotton (*Gossypium hirsutum*) is highly sensitive to heat exposure during the tetrad stage. In: *Plant Cell Environ.* 2021, vol. 44 (7), 2150-2166, doi: <https://doi.org/10.1111/pce.13908>
13. Parrotta, L., Faleri, C., Cresti, M. et al. Heat stress affects the cytoskeleton and the delivery of sucrose synthase in tobacco pollen tubes. In: *Planta*, 2016, vol. 243.1, 43-63, doi: <https://doi.org/10.1007/s00425-015-2394-1>
14. Driedonks, N. From flower to fruit in the heat reproductive thermotolerance in tomato and its wild relatives. Thesis, Radboud University, Nijmegen, The Netherlands, 2018. 190 p.
15. Xu, J., Driedonks, N., Rutten, M. et al. Mapping quantitative trait loci for heat tolerance of reproductive traits in tomato (*Solanum lycopersicum*). In: *Mol. Breed.* 2017, vol. 37, 58.
16. Butković, A., Gonzalez, R. A brief view of factors that affect plant virus evolution. In: *Front. Virol.* 2022, vol. 2, doi: <https://doi.org/10.3389/fviro.2022.994057>
17. Chojak-Koźniewska, J., Kuźniak, E., Zimny, J. The effects of combined abiotic and pathogen stress in plants: insights from salinity and *Pseudomonas syringae* pv *lachrymans* interaction in cucumber. In: *Front. Plant Sci.* 2018, doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01691>
18. Zandalinas, S., Sengupta, S., Felix, B. et al. The impact of multifactorial stress combination on plant growth and survival. In: *New Phytologist*, 2021, vol. 230, 1034-1048, doi: <https://doi.org/10.1111/2020.11.23.394593>
19. Ivakin A. Opredelenie jarostoikosty ovoshchyyh culytur po rostovoy reatsii prorostkov posle progrevania. In: *Fiziologia rasteniy*, 1981, vol. 2, 444-447.
20. Paupière, M., Van Heusden, A., Bovy, A. The metabolic basis of pollen thermo-tolerance: perspectives for breeding. In: *Metabolites*, 2014, vol. 4(4), 889-920, doi: <https://doi.org/10.3390/metabo4040889>

NOTĂ. Cercetările au fost efectuate în cadrul subprogramului 011101 *Abordări genetice și biotehnologice de management al agroecosistemelor în condițiile schimbărilor climatice*, finanțat de Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova.