

Universitatea de Științele Vieții “Regele Mihai I” din Timișoara
Școala Doctorală IRVA



Ing. BUHAI IOANA MARINELA

TEZĂ DE DOCTORAT

**CERCETĂRI PRIVIND INFLUENȚA INTERACȚIUNII
GENOTIP X MEDIU ASUPRA UNOR CARACTERE DE
PRODUCȚIE ȘI CALITATE LA TOMATE**

Conducător Științific

Prof.univ.dr. SORIN CIULCA

Timișoara

2024

INTRODUCERE

Tomata este a doua cea mai importantă specie horticolă cultivată la nivel mondial, fiind considerată în cercetare ca o plantă model al familiei Solanaceae și prin urmare, a fost și este încă un subiect important de studii atât în laborator, cât și în câmp. Tomatele reprezintă unele dintre cele mai cultivate și consumate legume la nivel mondial, dar productivitatea lor este limitată de o gamă largă de factori de stres abiotic cu efecte negative asupra producției ca urmare a reducerii numărului și mărimii fructelor, dar și cu efecte asupra calității fructului.

Având în vedere valoarea sa economică ridicată și variația genetică ridicată a diferitelor caractere ale fructelor cum ar fi forma, mărimea și greutatea, programele de ameliorare s-au concentrat pe îmbunătățirea caracterelor fructelor. În consecință, cultivarele actuale de tomate au fenotipuri variate, inclusiv culori (de la verde la portocaliu, roșu și negru), dimensiuni (de la 6 la 100 mm și chiar mai mari) și structură internă (diverse caractere ale pericarpului).

Variația acestor caractere influențează piața și consumul culinar al fructelor de tomate. Astfel, având în vedere indicele de mărime și formă fructelor, cele mari și plate sunt de preferat să fie feliate sau găsite deoarece sunt mai ușor de prelucrat manual. Fructele cu suprafață mare a locurilor tind să aibă valori ridicate ale conținutului de suc fiind potrivite pentru consum în stare proaspătă, în timp ce fructele cu loculi mici și un pericarp gros sunt preferate pentru gătit.

În general, cultivarele hibride de tomate sunt utilizate pe scară largă în principal datorită randamentului ridicat de producție, precocității, uniformității și calității ridicate a fructelor și rezistenței la boli. Mai mult, un studiu recent a relevat că tomata este cultura de legume cu cel mai mare număr de cultivare înregistrate, iar 89 % dintre acestea sunt hibrizi. Programele de ameliorare la tomate au crescut semnificativ productivitatea, cu impact negativ asupra calității senzoriale și nutriționale a fructelor.

Tomata este una dintre cele mai consumate legume la nivel mondial, care necesită sisteme de producție intensive pentru a satisface cererea ridicată a pieței. Cu toate acestea, cultura intensivă de tomate necesită utilizarea unor cantități mari de îngrășăminte chimice și pesticide cu impact negativ asupra mediului.

Termenul „agricultura durabilă” este definită ca o abordare a agriculturii care menține sau crește producția în timp ce se îmbunătățește resursele ecosistemelor agricole. În termeni practici, la tomate acest sistem de producție echivalează cu creșterea producției și calității acesteia, pe fondul reducerii cantităților de îngrășăminte chimice și a pesticidelor.

Sistemul de cultivare al tomatelor poate avea o influență mai mare asupra caracterelor și calității fructelor inclusiv conținutul de compuși bioactivi, decât asupra nivelului producției, iar cantitatea acestor compuși este adesea mai mare în fructele obținute în culturile organice și cu aport scăzut de inputuri chimice în comparație cu fructele din producția convențională.

Cultivatorii de tomate care folosesc sisteme de producție cu aport redus de inputuri chimice, se concentrează frecvent pentru a obține o calitate organoleptică ridicată a fructelor, care depinde în mare măsură de genotip. Pentru a reduce poluarea mediului și pentru a asigura o producție durabilă de tomate, utilizarea micorizelor ar putea fi o soluție eficientă în prezent. Micorizele asigură stimularea creșterii plantelor și sporirea producției și calității fructelor de tomate.

Pe fondul schimbărilor climatice, posibilitatea obținerii unor producții eficiente de tomate cu o calitate corespunzătoare depinde și de efectul interacțiunii genotip x mediu asupra manifestării fenotipice a principalelor caractere de producție și calitate la tomate. În acest sens este necesară evaluarea genotipurilor în diferite condiții ecologice în vederea identificării cultivarelor care manifestă o bună stabilitate a performanțelor de producție și calitate.

Scopul acestui studiu a fost de a evalua măsura interacțiunii genotip x mediu, în vederea identificării unor genotipuri de tomate care să valorifice eficient tratamentele de micorizare și cu biostimulatori, în perspectiva realizării unor producții superioare și constante. În vederea îndeplinirii acestui scop, au fost vizate următoarele obiective:

- stabilirea variabilității fenotipice a caracterelor componente ale producției/plantă și însușirilor de calitate sub efectul micorizării și biostimulatorilor;
- determinarea efectului interacțiunii dintre tratamente și condițiile de mediu asupra caracterelor componente ale producției/plantă și însușirilor de calitate la genotipurile studiate;
- evaluarea stabilității producției/plantă, componentelor acesteia și însușirilor de calitate a fructelor pentru diferite combinații de tratamente;

- analiza efectelor interacțiunii genotip x mediu asupra caracterelor componente ale producției/plantă și însușirilor de calitate a fructelor.

Teza de doctorat este structurată în principal pe trei capitole. În primul dintre acestea sunt prezentate informații generale despre importanța culturii tomatelor precum și despre originea, genetica și biodiversitatea tomatelor. De asemenea, sunt analizate și informații din literatura de specialitate referitoare la ameliorarea rezistenței tomatelor față de condițiile de mediu, precum și despre posibilitatea utilizării micorizelor pentru reducerea impactului condițiilor de mediu asupra producției și calității la tomate.

În capitolul al doilea sunt prezentate rezultatele privind variabilitatea caracterelor componente ale producției/plantă. În acest sens, s-au evaluat performanțele celor șase genotipuri sub efectul combinat al micorizării, fertilizării foliare și condițiilor climatice din perioada studiului. Genotipurile respective au fost analizate și sub aspectul stabilității caracterelor de producție pe durata celor trei ani.

Capitolul trei cuprinde rezultate referitoare la variabilitatea unor însușiri de calitate a fructelor. În acest sens, s-au evaluat fermitatea, conținutul de zahăr, aciditatea și indicele gluco-acidimetric al fructelor la cele șase genotipuri sub efectul combinat al micorizării, fertilizării foliare și condițiilor climatice din perioada studiului. Genotipurile respective au fost analizate și sub aspectul stabilității respectivelor însușiri de calitate pe durata celor trei ani.

IMPLICAȚIILE INTERACȚIUNII GENOTIP X MEDIU ÎN CULTURA ȘI AMELIORAREA TOMATELOR

Condițiile de cultură, cum ar fi disponibilitatea apei, temperatura, salinitatea și contaminanții pot afecta creșterea, metabolismul și randamentul plantelor de tomate. Sistemele de cultură în spații protejate permit controlul asupra multor factori de mediu, precum intensitatea luminii, temperatura și umiditatea.

Disponibilitatea apei afectează creșterea plantelor, rata fotosintezei, producția de fructe și calitatea acestora. Datorită acestui fapt, utilizarea fertirigării plantelor în combinație cu un sistem de irigare prin picurare devine din ce în ce mai frecvent întâlnită în cultura tomatelor. Aceste sisteme sunt benefice nu doar pentru udarea regulată și fiabilă a plantelor, ci și pentru aplicarea unei doze controlate de îngrășământ adăugat la momente adecvate în funcție de stadiul de creștere. Stresul indus de secetă și temperaturi mari reduce creșterea și productivitatea tomatelor, dar crește conținutul de carotenoizi și activitatea enzimelor antioxidante, probabil din cauza stresului oxidativ crescut indus de astfel de condiții. Stresul creat de secetă poate provoca un dezechilibru energetic în care energia absorbită prin complexe de fotosinteză este mai mare decât poate disipa fotosistemul II. Această energie în exces este disipată în celule prin conversia oxigenului în specii reactive de oxigen, sintetizându-se în plante antioxidanți precum superoxid dismutaza.

Acumularea de antioxidanți și alți compuși în fructele de tomate este de asemenea, puternic influențată de condițiile de mediu (intensitatea luminii, disponibilitatea apei, temperatura, salinitate) în care este cultivat fructul. În unele studii, locația geografică mai degrabă decât genotipul de tomate a avut un impact mai mare asupra bioaccesibilității carotenoizilor și respectiv al licopenului din fruct.

Temperatura influențează distribuția fotoasimilaților (compuși biologici formați prin asimilare prin reacții dependente de lumină) între fruct și restul plantei de tomate. La temperaturi mai ridicate, acumularea de fotoasimilați în fructe este crescută, reducând creșterea vegetativă a plantei de tomate. Temperatura afectează de asemenea, distribuția apei în plantă, structurile celulare implicate în calitatea fructului cum ar fi dimensiunea și culoarea, precum și dezvoltarea fructelor.

Dacă plantele de tomate sunt expuse la temperaturi peste 30 °C, aceasta va determina o rată mare de evapotranspirație, astfel că o cantitate mult mai redusă din carbohidrații sintetizați va fi repartizată pentru acumularea zahărului. Prin urmare, va apărea o inhibare a biosintezei licopenului, care determină modificarea culorii fructelor care devin galbene sau portocalii. Fructele de tomate din spații protejate au un conținut de substanțe solubile mai scăzut din cauza calității slabe a luminii în comparație cu producția din câmp. Având în vedere practica frecventă ca tomatele să fie recoltate în stadiul verde matur pentru maturare în tranzit, acest lucru poate afecta nivelurile de antioxidanți precum licopenul, care sunt sintetizați în timpul coacerii. Cu toate acestea, spre deosebire de carotenoizi precum licopenul și β -carotenul, nivelurile de vitamina C ale fructelor culese în stadiul complet de coacere sunt mai reduse, comparativ cu cele culese în stadiul verde matur.

Schimbările climatice și industrializarea în continuă expansiune sunt asociate cu o gamă largă de factori abiotici care afectează productivitatea și calitatea tomatelor. Prin urmare, strategiile rentabile pentru utilizarea

micorizelor au demonstrat un efect de ameliorare al stresului abiotic la plantele de tomate. Micorizele arbusculare fac parte din Glomeromycota, sunt biotrofe obligatorii care stabilesc asociații simbiotice reciproce cu majoritatea plantelor cu flori care și asigură beneficii plantelor pentru o gamă largă de specii. În principal, micorizele arbusculare sunt grupate în patru clase, inclusiv Glomerales, Archaeosporales, Paraglomerales, Diversisporales, care sunt împărțite pe baza caracterelor morfologice în 25 de genuri grupate în sub-Phylum.

În cazul unei colonizări de succes, micorizele ocupă o suprafață vastă care implică rețelele de hyphae extraradice, sub forma unor aglomerări încorporate într-o matrice a cortexului rădăcinii. Aceste hifee contribuie la îmbunătățirea masei solului și ajută la absorbția de nutrienți care stimulează creșterea plantelor.

Schimbul de nutrienți între partenerii din simbioză indică implicarea structurilor specializate denumite arbusculare din micorize care ajută la schimbul de nutrienți și la absorbția eficientă. Micorizele asigură absorbția eficientă a P, N și micronutrienților care nu sunt ușor disponibile pentru absorbția plantelor din sol. În schimb, ajutorul plantelor este compatibil, oferind reciproc beneficii pentru micorize într-o asociație biotrofică obligată prin furnizarea de carbohidrați ca sursă de hrană și gestionarea ciclului de viață prin utilizarea lipidelor.

Micorizele nu facilitează doar absorbția de nutrienți, ci și mecanismele de rezistență a plantelor împotriva diferiților factori de stres, cum ar fi salinitatea, seceta, fluctuațiile de temperatură și toxicitatea metalelor grele. De asemenea, acționează ca o endosimbionți esențiali, facultativi, obligați, care favorizează agricultura durabilă, asigurând modularea ecosistemului și a ingineriei de fitobiom în vederea obținerii unor culturi performante.

Fertilitatea solului depinde de mai însușiri ale solului care concentrează disponibilitatea de nutrienți pentru creșterea plantelor pe fondul unei utilizare crescute a îngrășămintelor chimice pentru obținerea unor randamente superioare de producție.

Numeroase studii au demonstrat că micorizele reprezintă un regulator eficient de creștere, indiferent de disponibilitatea nutrienților, în solurile cu fertilitate redusă sau medie. Inocularea cu micorize și răspunsul favorabil al producției tomatelor sunt în conformitate cu fertilizarea combinată cu NPK care influențează creșterea plantelor prin îmbunătățirea disponibilității nutrienților.

Chiar și în condițiile unei disponibilități reduse a fosforului, micorizele reprezintă un biofertilizator adecvat pentru o tehnologie inovatoare eco-durabilă în vederea creșterii eficienței economice a culturilor. Inocularea cu micorize în condiții de disponibilitate redusă a fosforului, îmbunătățește absorbția fosforului, sporește bioma și asigurând astfel o creștere intensă a plantelor și a acumulării fosforului la nivelul țesuturilor.

Simbioza rădăcinilor de tomate cu micorizele asigură plantelor o cantitate suplimentară de nutrienți și apă care stimulează creșterea plantelor și sporește atât producția cât și calitatea fructelor.

Inocularea cu micorize a provocat o creștere cu 18 % a înălțimii totale a plantelor de tomate, indiferent de fertilizarea aplicată. Sub aspectul producției plantele micorizate au înregistrat un spor de 23 %, pe fondul unei creșteri a numărului de fructe/plantă cu 53 %. De asemenea, micorizarea a determinat o creștere a suprafeței foliare înainte de înflorit și a numărului de flori pe plantă.

Inocularea cu micorize reduce alungirea tulpinii la plantele cultivate în condiții de lumină redusă, contracarând astfel reacția plantelor la umbră. Colonizarea tomatelor cu micorize produce un mecanism de apărare care induce o rezistență eficientă față de patogeni fungici, bacterieni și insecte, pe fondul unei dezvoltări a sistemului radicular. Plantele micorizate produc inflorescențe cu mai multe flori, au o producție mai timpurie pe fondul unei cantități și calități superioare a polenului. Fructele plantelor micorizate prezintă o creștere a cantității de zahăr și o reducere a acidității. Efectele benefice ale micorizării asupra acumulării de compuși bioactivi în fructe este dependent de specia de micoriză, genotipul de tomate și condițiile de cultură.

CONTRIBUȚII PRIVIND INFLUENȚA INTERACȚIUNII GENOTIP X MEDIU ASUPRA UNOR CARACTERE DE PRODUCȚIE LA TOMATE

Genotipul de tomate a avut cea mai ridicată contribuție asupra variabilității numărului de fructe/plantă pe fondul unui efect superior (81,52 %) în condițiile nefavorabile din 2022 și o influență mai redusă (65,11 %) în condițiile favorabile din 2023.

Fertilizarea foliară a influențat pozitiv variabilitatea numărului fructelor într-o măsură de 5,81 % în 2021 și 13,63 % în 2023, în condițiile unui efect superior al tratamentului cu Cropmax. Efectul pozitiv al micorizării asupra acestui caracter a fost mai redus, fiind cuprins între 3,06 % în 2023 și 6,59 % în 2022. Rata de creștere a numărului fructelor/plantă sub efectul fertilizării cu Algamax a prezentat cele mai ridicate valori la soiul Tomtim (19,27-29,51 %). Tratamentul cu Cropmax a fost valorificat cel mai eficient de plantele hibridului Banato care au înregistrat o rată de creștere a numărului fructelor de 48,18-72,31 %.

Pe fondul condițiilor din 2022-2023 efectul micorizării asupra numărului de fructe a fost mai ridicat la plantele fertilizate cu Algamax în cazul soiului Tomtim. În cazul plantelor fertilizate cu Cropmax, micorizarea a avut cea mai ridicată eficiență din punct de vedere al acestui caracter la plantele de Tomtim și USAB29.

Plantele soiului Ghittia nemicorizate și fertilizate cu Algamax precum și cele micorizate și fertilizate cu Cropmax au prezentat o stabilitate ridicată asociată cu un număr de fructe/plantă superior mediei experienței. La plantele soiului Ghittia nemicorizate și fertilizate cu Cropmax, precum și la plantele hibridului Sorada nemicorizate și fertilizate cu Algamax, stabilitatea mijlocie este asociată cu un număr de fructe superior mediei indicând o variație proporțională cu favorabilitatea condițiilor de mediu. În cazul plantelor hibridului Banato și Sorada micorizate și fertilizate cu Cropmax, precum și la plantele de Sorada nemicorizate și fertilizate cu Cropmax, stabilitatea redusă a fost asociată cu un număr de fructe superior mediei, indicând o adaptare specifică la condiții favorabile de mediu.

Manifestarea fenotipică a grosimii pericarpului a avut o bază genetică importantă, având în vedere că genotipul a influențat variabilitatea acestui caracter cu 70,87 % în 2021, 61,93 % în 2023 și 51,9 % în 2022, pe fondul unor influențe considerabil mai reduse ale micorizării (2,63-4,01 %) și fertilizării foliare (0,1-0,43 %).

Eficiența tratamentului cu Algamax a fost influențată de genotip, pe fondul unor rate ridicate de creștere a grosimii pericarpului la fructele de Banato (15,86 %) în 2021, de Ghittia (8,57 %) în 2022 și de Tomtim (14,65 %) în 2023. Tratamentul cu Cropmax a manifestat cel mai ridicat efect asupra grosimii pericarpului la fructele de Banato (15,86 %) în 2021 și Ghittia (11,36 %) în 2022, în timp ce sub efectul condițiilor din 2023 acest tratament a avut efecte negative la toate genotipurile.

Pentru grosimea pericarpului, micorizarea a fost valorificat la un nivel mai ridicat de plantele fertilizate cu Algamax ale hibridului Banato în 2021-2022, Ghittia și Tomtim în 2022, respectiv Tomtim și USAB29 în 2023. În cazul plantelor fertilizate cu Cropmax, micorizarea a avut cea mai ridicată eficiență din punct de vedere al acestui caracter la plantele de Miruna și Ghittia în 2021 și 2023 respectiv, Ghittia și Tomtim în 2022.

Variabilitatea grosimii pericarpului a fost semnificativ influențată într-o măsură foarte ridicată de genotip (84,57 %), respectiv la un nivel mai redus de condițiilor climatice (2,99 %), pe fondul unei influențe nesemnificative a interacțiunii genotipuri x ani. Plantele nefertilizate ale soiului Ghittia prezintă o instabilitate ridicată a grosimii pericarpului fiind specific adaptate la condiții favorabile de mediu, în timp ce plantele fertilizate cu Cropmax ale hibridului Banato au înregistrat o stabilitate redusă asociată cu o adaptare specifică la condiții nefavorabile de mediu.

Stabilitate ridicată a grosimii pericarpului la plantele micorizate și nefertilizate ale hibridului USAB29 a fost asociată cu valori superioare mediei experienței, în timp ce la plantele micorizate și fertilizate cu Cropmax ale hibridului USAB29 sau la plantele nefertilizate și nemicorizate ale hibridului Miruna, stabilitatea a fost asociată cu valori inferioare mediei.

Variabilitatea greutateii fructelor a fost influențată major de genotip, pe fondul unor contribuții de la 76,99 % în 2021 până la 82,42 % în 2023, în condițiile în care efectul genotipului a prezentat o bună stabilitate pe perioada studiului. Aplicarea fertilizării foliare a manifestat un efect pozitiv asupra greutateii fructelor, determinând sporuri de 6,52-10,39 % în 2021, 11,82-13,68 % în 2022 și 6,46-8,24 % în 2023, în condițiile unor diferențe nesemnificative între tratamente. Micorizarea a avut o influență pozitivă de 4,57 % asupra greutateii fructelor în condițiile mai puțin favorabile din 2022 și o influență de 7,81 % în condițiile favorabile din 2023.

Plantele hibridului USAB29 au valorificat cel mai eficient tratamentul cu Algamax care a generat o creștere a greutateii fructelor de la 16,46 % în 2021 până la 34,74 % în 2023. Tratamentul cu Cropmax a avut cea mai ridicată eficiență asupra greutateii fructelor la plantele de Banato (26,31 %) în 2021, USAB29 și Sorada (19,84-20 %) în 2022 și USAB29 (21,52 %) în 2023.

Pe parcursul studiului la plantele hibridului Banato s-a observat cel mai ridicat efect pozitiv al interacțiunii dintre micorizare și fertilizarea cu Algamax asupra greutateii fructelor. În cazul plantelor hibridului Sorada fertilizate cu Cropmax, micorizarea a determinat o creștere ridicată a masei fructelor în 2021, în timp ce plantele soiurilor Ghittia și Tomtim fertilizate cu Cropmax au valorificat micorizarea la un nivel ridicat în 2022-2023.

Plantele nefertilizate ale hibridului Banato alături de cele fertilizate cu Algamax prezintă o instabilitate ridicată a greutateii fructelor fiind specific adaptate la condiții favorabile de mediu, în timp ce plantele soiului Tomtim fertilizate cu Algamax au înregistrat o stabilitate redusă asociată cu o adaptare specifică la condiții nefavorabile de mediu.

În cazul plantelor hibridului Miruna nemicorizate și fertilizate cu Cropmax, sau micorizate și fertilizate cu Algamax se observă o stabilitate de tip static ridicată asociată cu valori ale masei fructelor superioare mediei

experienței. Plantele micorizate și nefertilizate ale hibridilor Miruna și USAB29, alături de plantele fertilizate cu Algamax și nemicorizate ale hibridului Miruna sau micorizate ale hibridului USAB29, manifestă o stabilitate medie asociată și cu valori superioare mediei generale a experienței prezentând o adaptare bună la condițiile celor trei ani.

Fertilizarea foliară a avut cea mai ridicată contribuție asupra variabilității producției plantelor de tomate, pe fondul unui efect de 37,47 % în condițiile nefavorabile din 2022 și o influență de 41,92 % în condițiile favorabile din 2023. Tratamentul cu Cropmax a manifestat un efect superior față de Algamax. Genotipul a influențat variabilitatea producției într-o măsură de 18,77 % în 2022 și 34,50 % în 2023. Efectul pozitiv al micorizării asupra acestui caracter a fost mai redus, fiind cuprins între 13,2 % în condițiile din 2023 și 26,69 % în condițiile mai puțin favorabile din 2022.

Rata de creștere a producției/plantă sub efectul fertilizării cu Algamax a prezentat cele mai ridicate valori la hibridul USAB29 (33,8-45,5 %) în 2021-2022, respectiv la Tomtim și Miruna (22,05-22,37 %) în 2023. Tratamentul cu Cropmax a fost valorificat cel mai eficient de plantele hibridului USAB29 care au înregistrat o rată de creștere a producției/plantă de 42,61-53,01 %.

În condițiile favorabile din 2021 și 2023 efectul micorizării asupra producției a fost mai ridicat la plantele hibridului Banato fertilizate cu Algamax, în timp ce în 2022 s-au evidențiat în acest sens plantele de Tomtim. În cazul plantelor fertilizate cu Cropmax, micorizarea a avut cea mai ridicată eficiență din punct de vedere al acestui caracter la plantele de Banato în 2021 și Tomtim în perioada 2022-2023.

Genotipul a manifestat cea mai ridicată influență (74,52 %) asupra variabilității producției/plantă, în timp ce influențele condițiilor climatice (20,33 %) și interacțiunii genotipuri x ani (5,15 %) au fost considerabil mai reduse. Plantele soiului Ghittia micorizate și fertilizate cu Algamax prezintă o stabilitate ridicată asociată cu producții superioare mediei experienței.

Plantele micorizate și fertilizate foliar ale hibridului Miruna prezintă o stabilitate mijlocie asociată cu producții superioare mediei experienței, prezentând o adaptare bună la condițiile celor trei ani. Plantele fertilizate cu Cropmax ale hibridilor Banato și USAB29 prezintă o instabilitate ridicată a producției fiind specific adaptate la condiții favorabile de mediu, în timp ce plantele nemicorizate și nefertilizate ale hibridilor Banato și USAB29 au înregistrat o stabilitate redusă asociată cu producții inferioare mediei.

CONTRIBUȚII PRIVIND INFLUENȚA INTERACȚIUNII GENOTIP X MEDIU ASUPRA UNOR ÎNSUȘIRI DE CALITATE LA TOMATE

Variabilitatea fermității fructelor a fost influențată major de genotip, pe fondul unor contribuții de la 25,63 % în 2023 până la 58,72 % în 2021, în condițiile în care efectul genotipului a prezentat o bună stabilitate în 2021-2022. Aplicarea fertilizării foliare a manifestat un efect pozitiv asupra fermității fructelor, mai ridicat în 2021 (7,76 %) și mai redus (2,38 %) în 2023, în condițiile unei superiorități pentru Cropmax. Micorizarea a avut o influență pozitivă de 9,06 % asupra acestui caracter în 2021 și o influență de 2,35 % în condițiile favorabile din 2023.

Plantele hibridului USAB29 au valorificat cel mai eficient tratamentul cu Algamax care a generat o creștere a fermității fructelor în condițiile din 2021 și 2023, în timp ce în 2022 tratamentul respectiv a avut cel mai ridicat efect la plantele de Miruna. Tratamentul cu Cropmax a avut cea mai ridicată eficiență asupra fermității fructelor la plantele de Miruna în 2021-2022 și la Sorada în 2023.

În 2021-2022 la plantele hibridului Sorada s-a observat cel mai ridicat efect pozitiv al interacțiunii dintre micorizare și fertilizarea cu Algamax asupra fermității fructelor, având în vedere o valorificare superioară a acestuia de către plantele de Tomtim în 2023. În cazul plantelor hibridului Banato fertilizate cu Cropmax, micorizarea a determinat o creștere ridicată a fermității fructelor în 2021, în timp ce plantele de Miruna fertilizate cu Cropmax au valorificat micorizarea la un nivel ridicat în 2022-2023.

Plantele hibridului Sorada fertilizate cu Cropmax prezintă o stabilitate ridicată asociată cu o fermitate a fructelor superioară mediei experienței. Plantele soiului Ghittia micorizate și nefertilizate sau fertilizate cu Cropmax manifestă o bună stabilitate dinamică a fermității realizând valori superioare mediei generale și corelate cu favorabilitatea condițiilor de mediu. Interacțiunea genotip x mediu a manifestat o influență ridicată asupra fermității fructelor la plantele micorizate ale hibridului Sorada și fertilizate cu Cropmax sau nefertilizate, în condițiile unei adaptări specifice la condiții nefavorabile de mediu.

Manifestarea fenotipică a conținutului de zahăr în condițiile favorabile din 2023 a fost în principal influențată de genotip (39,81 %), pe fondul unor contribuții reduse ale micorizării (2,29 %) și fertilizării (3,47 %). În perioada 2021-2022 conținutul de zahăr a fost influențat major de fertilizare (15,66-22,88 %), urmată de genotip (16,49-18,97 %) și fertilizare (1,52-4,8 %).

Eficiența tratamentului cu Algamax a fost influențată de genotip, pe fondul unor rate ridicate de creștere a conținutului de zahăr la fructele de Miruna (4,19-10,02 %) în 2021 și 2023, și de Tomtim (13,11 %) în 2022. Tratamentul cu Cropmax a manifestat cel mai ridicat efect pozitiv asupra cantității de zahăr la fructele de Ghittia (9,72 %) în 2021 și Tomtim (6,64 %) în 2022, în timp ce sub efectul condițiilor din 2023 acest tratament a avut efecte negative la toate genotipurile.

Pentru conținutul de zahăr, micorizarea a fost valorificată la un nivel mai ridicat de plantele fertilizate cu Algamax ale soiului Tomtim în 2021, Ghittia în 2022, respectiv Ghittia și Tomtim în 2023. În cazul plantelor fertilizate cu Cropmax, micorizarea a avut cea mai ridicată eficiență din punct de vedere al acestui caracter la plantele de USAB29 în 2021, Ghittia în 2022, respectiv Sorada în 2023.

Variabilitatea conținutului de zahăr al fructelor a fost semnificativ influențată într-o măsură ridicată de condițiile climatice (58,56 %), respectiv la un nivel mai redus de genotip (24,16 %), pe fondul unei influențe a interacțiunii genotipuri x ani de 17,28 %. Plantele nemicorizate și nefertilizate ale hibridului USAB29 prezintă o stabilitate ridicată asociată cu un conținut de zahăr superior mediei experienței, în timp ce la plantele nemicorizate și nefertilizate ale soiului Tomtim stabilitatea a fost asociată cu valori inferioare mediei. Interacțiunea genotip mediu a manifestat o influență ridicată asupra conținutului de zahăr la plantele soiului Ghittia fertilizate cu Algamax precum și la cele micorizate și fertilizate cu Cropmax, indicând o adaptare specifică a acestora la condiții de mediu favorabile acumulării zahărului. Plantele nefertilizate ale hibridului Banato precum și cele fertilizate cu Algamax manifestă o stabilitate medie asociată cu un conținut de zahăr superior mediei generale prezentând o adaptare asociată cu favorabilitatea condițiile climatice.

Efectele negative ale micorizării și fertilizării asupra acidității fructelor au fost mai reduse (2,67-13,66 %) în 2021-2022 și mai ridicate (11,67-25,11 %) în condițiile favorabile din 2023, având în vedere o influență superioară a tratamentului cu Cropmax. Rata de creștere a acidității fructelor sub efectul fertilizării cu Algamax a prezentat cele mai ridicate valori la hibridul USAB29 (60,53 %) în 2021, respectiv la Sorada (32,84-84,78 %) în 2022-2023. Tratamentul cu Cropmax a manifestat cea mai ridicată influență asupra acidității fructelor de USAB29 (31,58 %) în 2021 și asupra fructelor de Sorada (37,04-43,48 %) în 2022-2023.

În condițiile favorabile din 2023 efectul negativ al micorizării asupra acidității a fost mai ridicat la plantele de Tomtim și USAB29 fertilizate cu Algamax, în timp ce în 2022 plantele celor două soiuri fertilizate cu Algamax au înregistrat o reducere pronunțată a acidității sub efectul micorizării. În cazul plantelor fertilizate cu Cropmax, micorizarea a avut cea mai ridicată eficiență din punct de vedere al acestui caracter la plantele de Banato în 2021 și Tomtim în perioada 2022-2023. Sub efectul fertilizării cu Cropmax, micorizarea a avut un efect pozitiv asupra acidității fructelor la Banato și Tomtim în 2021, la Ghittia în 2022 și USAB29 în 2023.

Interacțiunea genotip x ani a manifestat cea mai ridicată influență (40,71 %) asupra variației acidității fructelor, în timp ce influențele condițiilor climatice (32,56 %) și genotipului (26,73 %) au fost mai reduse. Plantele nemicorizate și nefertilizate al soiului Tomtim alături de plantele hibridului USAB29 nemicorizate și fertilizate cu Algamax prezintă o stabilitate ridicată asociată cu valori ale acidității fructelor superioare mediei, în timp ce la plantele nefertilizate ale hibridurilor Sorada și USAB, stabilitatea ridicată este asociată cu valori inferioare mediei.

Plantele nemicorizate și nefertilizate ale hibridurilor Miruna și Banato manifestă o bună stabilitate dinamică realizând valori superioare mediei și corelate cu favorabilitatea condițiilor de mediu, în timp ce la plantele micorizate și nefertilizate ale hibridului Miruna stabilitatea dinamică este asociată cu o aciditate a fructelor inferioară mediei.

Variabilitatea indicelui gluco-acidimetric al fructelor a fost influențată major de genotip, pe fondul unor contribuții de la 27,53 % în 2021 până la 39,72 % în 2022, în condițiile în care efectul genotipului a prezentat o bună stabilitate în 2022-2023. Aplicarea fertilizării foliare a manifestat un efect pozitiv asupra indicelui gluco-acidimetric, mai ridicat în 2023 (17,43 %) și foarte redus (0,85 %) în 2021, în condițiile unei superiorități pentru Cropmax. Micorizarea a avut o influență pozitivă de 3,57 % asupra acestui indice în 2022 și o influență mai ridicată de 19,29 % în condițiile din 2021.

Plantele soiului Tomtim au valorificat cel mai eficient tratamentul cu Algamax care a generat o creștere a aromei fructelor în condițiile din 2021-2022, în timp ce în 2023 tratamentul respectiv a avut cel mai ridicat efect la plantele de Miruna. Tratamentul cu Cropmax a avut cea mai ridicată eficiență asupra indicelui de aromă la fructele de Sorada în 2021 și de Tomtim în 2022, în timp ce în 2023 a avut un efect negativ la toate genotipurile.

În 2021-2022 la fructele de Ghittia s-a observat cel mai ridicat efect pozitiv al interacțiunii dintre micorizare și fertilizarea cu Algamax asupra indicelui gluco-acidimetric, având în vedere și o valorificare superioară a acestui tratament de către plantele de Tomtim în 2022-2023. În cazul plantelor soiului Ghittia fertilizate cu Cropmax,

micorizarea a determinat o creștere ridicată a aromei fructelor în 2021, în timp ce micorizarea a fost valorificată la un nivel ridicat în 2022 de către plantele fertilizate ale hibridului USAB29.

Interacțiunea genotipuri x ani a manifestat cea mai ridicată influență (45,68 %) asupra variației indicelui gluco-acidimetric al fructelor, în timp ce influențele condițiilor climatice (29,63 %) și genotipului (24,69 %) au fost mai reduse. Plantele micorizate și nefertilizate ale soiului Tomtim prezintă o stabilitate ridicată asociată cu un indice de aromă superior mediei experienței, în timp ce la plantele nemicorizate și nefertilizate ale soiului Tomtim și hibridului Sorada, stabilitatea a fost asociată cu valori inferioare mediei.

La plantele nefertilizate și nemicorizate ale soiului Ghittia precum și la plantele micorizate și fertilizate cu Algamax ale hibridului Banato, stabilitatea dinamică este asociată cu un indice inferioară mediei. Plantele soiului Ghittia micorizate și fertilizate cu Algamax precum și plantele nemicorizate și fertilizate cu Cropmax ale hibridului Banato și soiului Ghittia prezintă o instabilitate ridicată a acestui indice fiind specific adaptate la condiții de mediu favorabile unei arome superioare a fructelor.

CONTRIBUȚIILE PROPRII ALE AUTORULUI

Cercetările realizate au oferit posibilitatea obținerii unor rezultate valoroase atât în ceea ce privește performanțele de producție și calitate a fructelor la genotipurilor studiate pe fondul unor diferite tratamente cu micorize și biostimulatori, cât și stabilitatea acestor caractere și însușiri sub efectul interacțiunii genotip x mediu.

În condiții climatice mai puțin favorabile precum cele din 2022, plantele micorizate și tratate cu Cropmax ale hibridului Sorada și soiului Ghittia alături de plantele hibridului Sorada tratate cu Algamax au înregistrat producții ridicate de 2900-3466 g pe fondul unui număr mare de fructe de dimensiuni mici, cu fermitate bună, conținut ridicat de zahăr și aciditate redusă.

Plantele hibridului USAB29 micorizate și fertilizate cu biostimulatori, precum și cele al hibridului Banato micorizate și fertilizate cu Cropmax au realizat pe fondul unor condiții climatice mai puțin favorabile producții ridicate de 2850-3090 g asociate cu un număr mediu de fructe cu dimensiuni de aproximativ 200 g, fermitate mijlocie și un conținut ridicat de zahăr. Plantele soiului Tomtim micorizate și fertilizate cu Algamax au prezentat în condițiile nefavorabile din 2022 fructele cele mai mari și cu cel mai ridicat conținut de zahăr și o fermitate redusă, pe fondul unei producții de 2529 g.

Pe perioada studiului plantele soiului Ghittia micorizate și fertilizate cu Algamax au prezentat o stabilitate ridicată asociată cu producții superioare mediei experienței. Plantele fertilizate cu Cropmax ale hibridului Banato și USAB29 au fost specific adaptate la condiții favorabile de mediu, înregistrând o capacitate superioară de a valorifica aceste condiții prin realizarea unor producții performante.

În cazul plantelor soiului Tomtim micorizate și fertilizate cu Cropmax, precum și la plantele micorizate și fertilizate cu Algamax ale hibridului USAB29, influența redusă a interacțiunii genotip x mediu a fost asociată cu o producție superioară de 3129-3278 g.

Plantele micorizate și fertilizate cu Cropmax ale soiului Tomtim și hibridului Banato au valorificat cel mai eficient condițiile climatice favorabile din 2023, înregistrând sporuri de producție de 30-38 %, pe fondul unei structuri diferite a producției, respectiv un număr mai mare de fructe de dimensiuni mici la Banato și fructe mai puține și mari la Tomtim.

Interacțiunea genotip mediu a manifestat o influență ridicată asupra conținutului de zahăr la plantele soiului Ghittia fertilizate cu Algamax precum și la cele micorizate și fertilizate cu Cropmax, indicând o adaptare specifică a acestora la condiții de mediu favorabile acumulării zahărului.

Conținutul de zahăr din fructele plantelor hibridului USAB29 micorizate și fertilizate cu Cropmax și de la plantele soiului Tomtim micorizate și fertilizate cu Algamax, a manifestat cea mai ridicată stabilitate pe fondul unei variații reduse a interacțiunii cu condițiile climatice.

În general, cei patru hibridi au manifestat pe perioada studiului sub efectul diferitelor tratamente o capacitate mai ridicată de acumulare a zahărului în fructe, comparativ cu cele două soiuri. Această constatare este o consecință a faptului că în procesul de obținere a acestor cultivare hibride selecția s-a realizat în principal pentru această însușire de calitate a fructelor.

Realizarea producției/plantă a fost influențată semnificativ de numărul fructelor și fermitatea acestora, pe fondul unor contribuții mai ridicate în condiții de mediu cu favorabilitate redusă. Ca atare, pentru obținerea unor niveluri superioare ale producției, lucrările tehnologice trebuie direcționate pentru asigurarea unui număr ridicat de fructe recoltabile pe plantă.

University of Life Sciences “King Mihai I” from Timisoara

Doctoral School IRVA



Eng. BUHAI IOANA MARINELA

PHD THESIS

**RESEARCHES REGARDING THE INFLUENCE OF
GENOTYPE X ENVIRONMENT INTERACTION ON SOME
YIELD AND QUALITY TRAITS IN TOMATO**

Scientific leader

Prof. dr. SORIN CIULCA

Timișoara

2024

INTRODUCTION

Tomato is the second most important horticultural species cultivated worldwide, being considered in research as a model plant of the Solanaceae family and therefore, it has been and still is an important subject of studies both in the laboratory and in the field. Tomatoes represent some of the most cultivated and consumed vegetables worldwide, but their productivity is limited by a wide range of abiotic stress factors with negative effects on yield as a result of reducing the number and size of fruits, but also with effects on fruit quality.

Given its high economic value and high genetic variation in various fruit traits such as shape, size and weight, breeding programs have focused on improving fruit traits. Consequently, current tomato cultivars have varied phenotypes, including colours (from green to orange, red and black), sizes (from 6 to 100 mm and even larger) and internal structure (various traits of the pericarp).

The variation of these traits influences the market and culinary consumption of tomato fruits. Thus, considering the fruit size and shape index, large and flat ones are preferable to be sliced or cooked because they are easier to process by hand. Fruits with a large locule area tend to have high juice content values and are suitable for fresh consumption, while fruits with small locules and a thick pericarp are preferred for cooking.

Generally, hybrid tomato cultivars are widely used mainly due to their high yield, earliness, high fruit uniformity and quality, and disease resistance. Furthermore, a recent study revealed that the tomato is the vegetable crop with the largest number of recorded cultivars, and 89% of these are hybrids. Tomato breeding programs have significantly increased the yield, with a negative impact on the sensory and nutritional quality of the fruit.

Tomato is one of the most consumed vegetables worldwide, which requires intensive production systems to meet the high market demand. However, intensive tomato cultivation requires the use of large amounts of chemical fertilizers and pesticides with a negative impact on the environment.

The term "sustainable agriculture" is defined as an approach to agriculture that maintains or increases yield while improving agricultural ecosystem resources. In practical terms, for tomatoes, this production system equates to an increase in production and its quality, against the background of reductions in the amounts of chemical fertilizers and pesticides.

The tomatoes cultivation system can have a greater influence on the traits and quality of the fruit, including the content of bioactive compounds, than on the yield level, and the amount of these compounds is often higher in fruits obtained in organic crops and with low intake of chemical inputs in comparison with the fruits, from conventional production.

Tomato growers, who use production systems with low input of chemical inputs, frequently concentrate to obtain a high organoleptic quality of the fruit, which depends to a large extent on the genotype. To reduce environmental pollution and to ensure sustainable tomato production, the use of mycorrhizae could be an effective solution today. Mycorrhizae ensure the stimulation of plant growth and increase the yield and quality of tomato fruits.

Against the backdrop of climate change, the possibility of obtaining efficient tomato yields with an appropriate quality also depends on the effect of the genotype x environment interaction on the phenotypic expression of the main tomato yield and quality traits. In this sense, it is necessary to evaluate the genotypes in different ecological conditions in order to identify the cultivars that show a good stability of the yield and quality performances.

The aim of this study was to evaluate the level of genotype x environment interaction, in order to identify some tomato genotypes that can effectively capitalize the treatments with mycorrhizae and biostimulators, in the perspective of achieving higher and constant yields. In order to achieve this goal, the following objectives were targeted:

- establishing the phenotypic variability of the component traits of plant yield and quality attributes under the effect of mycorrhization and biostimulators;
- determining the effect of the interaction between the treatments and the environmental conditions on the component traits of the plant yield and the quality attributes of the studied genotypes;
- evaluation of the stability of plant yield, its components and fruit quality attributes for different combinations of treatments;
- analysis of the effects of the genotype x environment interaction on the component traits of plant yield and the fruit quality attributes.

The doctoral thesis is mainly structured in three chapters. In the first of these, general information is presented about the importance of tomato cultivation as well as about the origin, genetics and biodiversity of tomatoes. Also, information from specialized literature is analyzed regarding the improvement of tomatoes' resistance to environmental conditions, as well as the possibility of using mycorrhizae to reduce the impact of environmental conditions on tomato yield and quality.

In the second chapter, the results regarding the variability of the component traits of the plant yield are presented. In this sense, the performances of the six genotypes were evaluated under the combined effect of mycorrhization, foliar fertilization and climatic conditions during the study period. The respective genotypes were also analyzed in terms of the stability of the yield traits during the three years.

The third chapter includes results related to the variability of some fruit quality traits. In this sense, the firmness, sugar content, acidity and sugar-acid index of the fruits for the six genotypes were evaluated under the combined effect of mycorrhization, foliar fertilization and climatic conditions during the study period. The respective genotypes were also analyzed in terms of the stability of the respective quality attributes during the three years.

THE IMPLICATIONS OF GENOTYPE X ENVIRONMENT INTERACTION IN TOMATO PRODUCTION AND BREEDING

Growing conditions such as water availability, temperature, salinity and contaminants can affect the growth, metabolism and yield of tomato plants. Culture systems in protected spaces allow control over many environmental factors, such as light intensity, temperature and humidity.

Water availability affects plant growth, photosynthesis rate, fruit yield and their quality. Due to this fact, the use of plant fertigation in combination with a drip irrigation system is becoming more and more common in tomato culture. These systems are beneficial not only for regular and reliable watering of plants, but also for the application of a controlled dose of fertilizer added at appropriate times depending on the growth stage. Stress induced by drought and high temperatures reduces the growth and productivity of tomatoes, but increases the content of carotenoids and the activity of antioxidant enzymes, probably due to the increased oxidative stress induced by such conditions. The stress created by the drought can cause an energy imbalance in which the energy absorbed by the photosynthetic complexes is greater than the photosystem II can dissipate. This excess energy is dissipated in the cells by converting oxygen into reactive oxygen species, synthesizing in plant antioxidants such as superoxide dismutase.

The accumulation of antioxidants and other compounds in tomato fruits is also strongly influenced by the environmental conditions (light intensity, water availability, temperature, salinity) in which the fruit was grown. In some studies, geographic location rather than tomato genotype had a greater impact on the bioaccessibility of carotenoids and lycopene from the fruit, respectively.

Temperature influences the distribution of photoassimilates (biological compounds formed by assimilation through light-dependent reactions) between the fruit and the rest of the tomato plant. At higher temperatures, the accumulation of photoassimilates in the fruit is increased, reducing the vegetative growth of the tomato plant. Temperature also affects water distribution in the plant, cellular structures involved in fruit quality such as size and color, and fruit development.

If tomato plants are exposed to temperatures above 30 °C, this will cause a high rate of evapotranspiration, so that a much smaller amount of the synthesized carbohydrates will be allocated to the accumulation of sugar. Therefore, there will be an inhibition of lycopene biosynthesis, which causes a change in the color of the fruit, which becomes yellow or orange. Tomato fruits from sheltered areas have a lower content of soluble substances due to the poor quality of light compared to field production. Given the common practice of harvesting tomatoes at the mature green stage for transit ripening, this may affect the levels of antioxidants such as lycopene, which are synthesized during ripening. However, unlike carotenoids such as lycopene and β -carotene, the vitamin C levels of fruits harvested at the fully ripe stage are lower compared to those harvested at the mature green stage.

Climate change and the ever-expanding industrialization are associated with a wide range of abiotic factors that affect the productivity and quality of tomatoes. Therefore, cost-effective strategies for the use of mycorrhizae have demonstrated an alleviating effect of abiotic stress in tomato plants. Arbuscular mycorrhizae are part of the Glomeromycota, they are obligate biotrophs that establish mutual symbiotic associations with

most flowering plants that provide plant benefits for a wide range of species. Mainly, arbuscular mycorrhizae are grouped into four classes, including Glomerales, Archaeosporales, Paraglomerales, Diversisporales, which are divided based on morphological traits into 25 genera grouped into sub-Phylum.

In the case of a successful colonization, the mycorrhizae occupy a vast surface involving the networks of extraradial hyphae, in the form of agglomerations embedded in a matrix of the root cortex. These hyphae contribute to the improvement of the soil mass and help the absorption of nutrients that stimulate plant growth.

The exchange of nutrients between the partners in the symbiosis indicates the involvement of specialized structures called arbuscules in mycorrhizae that help in the exchange of nutrients and efficient absorption. Mycorrhizae ensure the efficient absorption of P, N and micronutrients that are not readily available for absorption by plants from the soil. Instead, plant help is compatible, providing mutual benefits to mycorrhizae in an obligate biotrophic association by providing carbohydrates as a food source and managing the life cycle through lipid utilization.

Mycorrhizae not only facilitate nutrient absorption, but also plant resistance mechanisms against different stress factors, such as salinity, drought, temperature fluctuations and heavy metal toxicity. They also act as essential, facultative, obligate endosymbionts that favor sustainable agriculture, ensuring ecosystem modulation and phytobiome engineering in order to obtain high-performing crops.

Soil fertility depends on several soil properties that concentrate the availability of nutrients for plant growth against the background of increased use of chemical fertilizers to obtain higher yields. Several studies have demonstrated that mycorrhizae represent an effective growth regulator, regardless of nutrient availability, in soils with low or medium fertility. Mycorrhizal inoculation and the favorable response of tomato production are in accordance with NPK combined fertilization influencing plant growth by improving nutrient availability.

Even in conditions of low phosphorus availability, mycorrhizae represent a suitable biofertilizer for an innovative eco-sustainable technology in order to increase the economic efficiency of crops. Inoculation with mycorrhizae in conditions of low phosphorus availability improves phosphorus absorption, increases the biome and thus ensures intense growth of plants and the accumulation of phosphorus in the tissues.

The symbiosis of tomato roots with mycorrhizae provides the plants with an additional amount of nutrients and water that stimulates plant growth and increases both the production and the quality of the fruits. Mycorrhizal inoculation caused an 18% increase in the total height of tomato plants, regardless of the applied fertilization. In terms of yield, mycorrhizal plants registered an increase of 23%, against the background of a 53% increase in the number of fruits/plant. Also, the mycorrhization caused an increase in the leaf area before flowering and the number of flowers per plant.

Inoculation with mycorrhizae reduces stem elongation in plants grown in low light conditions, thus counteracting the plant's response to shading. The colonization of tomatoes with mycorrhizae produces a defense mechanism that indicates an effective resistance to fungal, bacterial and insect pathogens, against the background of a development of the root system. Mycorrhizal plants produce inflorescences with more flowers, have an earlier production due to a higher quantity and quality of pollen. The fruits of mycorrhized plants show an increase in the amount of sugar and a decrease in acidity. The beneficial effects of mycorrhization on the accumulation of bioactive compounds in fruits is dependent on the mycorrhizal species, the tomato genotype and the growing conditions.

CONTRIBUTIONS REGARDING THE INFLUENCE OF GENOTYPE X ENVIRONMENT INTERACTION ON SOME YIELD TRAITS IN TOMATO

The tomato genotype had the highest contribution on the variability of the number of fruits/plant against the background of a superior effect (81.52%) in the unfavourable conditions of 2022 and a lower influence (65.11%) in the favourable conditions of 2023.

Foliar fertilization positively influenced the variability of the number of fruits to an extent of 5.81% in 2021 and 13.63% in 2023, under the conditions of a superior effect of the Cropmax treatment. The positive effect of mycorrhization on this character was lower, ranging between 3.06% in 2023 and 6.59% in 2022. The growth rate of the number of fruits/plant under the effect of fertilization with Algamax showed the highest values in the Tomtim variety (19.27-29.51%). The treatment with Cropmax was used most effectively by the plants of the Banato hybrid, which recorded an increase rate of the number of fruits of 48.18-72.31%.

Against the background of the conditions of 2022-2023, the effect of mycorrhization on the number of fruits was higher in the plants fertilized with Algamax in the case of the Tomtim variety. In the case of plants

fertilized with Cropmax, mycorrhization had the highest efficiency from the point of view of this trait in Tomtim and USAB29 plants.

The non mycorrhizal plants of Ghittia variety and fertilized with Algamax as well as mycorrhizal ones fertilized with Cropmax have shown a high stability associated with a number of fruits/plant superior to the experience mean. At the non mycorrhizal plants of the Ghittia variety fertilized with Cropmax, as well as in the non mycorrhizal plants of the Sorada hybrid fertilized with Algamax, the middle stability was associated with a number of fruits superior to the mean indicating a variation proportional to the favorability of the environmental conditions. In the case of the mycorrhizal plants for Banato and Sorada hybrids, fertilized with Cropmax, as well as in the non mycorrhizal plants of Sorada fertilized with Algamax, the reduced stability was associated with a number of fruits superior to the media, indicating a specific adaptation to favorable environmental conditions.

The phenotypic expression of the pericarp thickness had an important genetic basis, given that the genotype influenced the variability of this trait by 70.87% in 2021, 61.93% in 2023 and 51.9% in 2022, against the background of considerably more influences reduced of reduction (2.63-4.01 %) and foliar fertilization (0.1-0.43%).

The efficiency of the treatment with Algamax was influenced by the genotype, against the background of high rates of increased pericarp thickness (15.86%) in 2021, by Ghittia (8.57 %) in 2022 and by Tomtim (14.65%) in 2023. Cropmax treatment has shown the highest effect on the pericarp thickness in the Banato fruits (15.86%) in 2021 and Ghittia (11.36%) in 2022, while under the effect of the conditions of 2023 this treatment had negative effects on all genotypes.

For the pericarp thickness, the mycorrhization was used at a higher level by the plants fertilized with Algamax of the Banato hybrid in 2021-2022, Ghittia and Tomtim in 2022, Tomtim and USAB29 in 2023, respectively. In the case of plants fertilized with Cropmax, the mycorrhization had the highest efficiency in terms of this trait in the plants of Miruna and Ghittia in 2021 and 2023, Ghittia and Tomtim in 2022, respectively

The variability of the pericarp thickness was significantly influenced to a very high extent by the genotype (84.57%), respectively at a lower level of climatic conditions (2.99%), against the background of an insignificant influence of the genotypes x years interaction. The unfertilized plants of the Ghittia variety have a high instability of the pericarp thickness being specifically adapted to favorable environmental conditions, while the fertilized plants of the Banato hybrid have registered a low stability associated with a specific adaptation to unfavorable environmental conditions;

High stability of the pericarp thickness in the mycorrhizal and unfertilized plants of the USAB29 hybrid has been associated with values higher than the experience mean, while in the mycorrhizal and fertilized plants of the USAB29 hybrid or in the non mycorrhizal and unfertilized plants of the Miruna hybrid, the stability was associated with values below the mean.

The variability of the fruits weight was influenced majorly by the genotype, against the background of contributions from 76.99% in 2021 to 82.42% in 2023, given that the effect of the genotype presented a good stability during the study. The application of foliar fertilization has shown a positive effect on the fruits weight, causing increases of 6.52-10.39% in 2021, 11.82-13.68% in 2022 and 6.46-8.24% in 2023, under the non significant differences between treatments. Micorization had a positive influence of 4.57% on the weight of the fruits under less favorable conditions of 2022 and an influence of 7.81 % under the favorable conditions of 2023.

The plants of USAB29 hybrid have most effectively used the treatment with Algamax that generated an increase in fruit weight from 16.46% in 2021 to 34.74% in 2023. Cropmax treatment had the highest efficiency on fruit weight in plants of Banato (26.31%) in 2021, USAB29 and Sorada (19.84-20%) in 2022 and USAB29 (21.52%) in 2023.

During the study in the plants of the Banato hybrid, the highest positive effect of the interaction between mycorrhizal and Algamax fertilization on the fruits weight was observed. In the case of Sorada hybrid plants fertilized with Cropmax, the mycorrhization caused a high increase in fruit mass in 2021, while the plants of Ghittia and Tomtim varieties fertilized with Cropmax have exploited the mycorrhization at a high level in 2022-2023.

Unfertilized plants of the Banato hybrid along with those fertilized with Algamax have a high instability of the fruit weight being adapted to favorable environments, while the plants of the Tomtim variety fertilized with Algamax have registered a low stability associated with a specific adaptation to unfavorable environmental conditions. In the case of Miruna hybrid plants, the non mycorrhizal and fertilized with Cropmax, or mycorrhizal and fertilized with Algamax, a high stability is observed with values of the fruits mass higher than the experience mean. Mycorrhizal and unfertilized plants of Miruna and USAB29 hybrids, along with the plants of the Miruna fertilized with Algamax and non mycorrhizal or mycorrhizal plants of the USAB29 hybrid, manifest an average

stability associated with values above the general mean of the experience presenting a good adaptation to the conditions of three years.

Foliar fertilization had the highest contribution to the variability of tomato plants, against an effect of 37.47% under the unfavorable conditions of 2022 and an influence of 41.92% under the favorable conditions of 2023. Cropmax treatment has shown a higher effect to Algamax. The genotype influenced the variability of production to a extent of 18.77% in 2022 and 34.50 % in 2023. The positive effect of mycorrhizal on this trait was lower, ranging between 13.2% under the conditions of 2023 and 26.69% under the less favorable conditions of 2022.

The increase rate of plant yield under the effect of fertilization with Algamax presented the highest values on the USAB29 hybrid (33.8-45.5%) in 2021-2022, respectively at Tomtim and Miruna (22.05-22.37%) in 2023. Cropmax treatment has been most effective used by the plants of USAB29 hybrid that have registered an increase rate for plant yield of 42.61-53.01%

Under the favorable conditions of 2021 and 2023 the effect of mycorrhizal on the yield was higher in the plants of the Banato hybrid fertilized with Algamax, while in 2022 the Tomtim plants were highlighted. In the case of plants fertilized with Cropmax, mycorrhizal had the highest efficiency in terms of this trait in the Banato plants in 2021 and Tomtim plants during 2022-2023.

The genotype expressed the highest influence (74.52%) on the variability of plant yield, while the influences of the climatic conditions (20.33%) and the interaction of the genotypes x years (5.15%) were considerably lower. The mycorrhizal plants of Ghittia fertilized with Algamax have a high stability associated with yields superior to the experience mean.

The mycorrhizal and fertilized foliar plants of the Miruna hybrid have a middle stability associated with yields higher than the experience mean, presenting a good adaptation to the conditions of the three years. The Cropmax fertilized plants of Banato and USAB29 hybrids have high yield instability being specifically adapted to favorable environmental conditions, while the non mycorrhizal and unfertilized plants of the Banato and USAB29 hybrids have registered a low stability associated with yields below the mean.

CONTRIBUTIONS REGARDING THE INFLUENCE OF GENOTYPE X ENVIRONMENT INTERACTION ON SOME QUALITY TRAITS IN TOMATO

The variability of the fruits firmness was influenced majorly by the genotype, against the background of contributions from 25.63% in 2023 to 58.72% in 2021, given that the effect of the genotype presented a good stability in 2021-2022. The application of foliar fertilization has shown a positive effect on the fruits firmness, higher in 2021 (7.76%) and lower (2.38%) in 2023, under the conditions of a superiority for Cropmax treatment. Mycorrhizal had a positive influence of 9.06% on this trait in 2021 and an influence of 2.35% under the favorable conditions of 2023.

The plants of the USAB29 hybrid have most effectively used the treatment with Algamax that generated an increase of the fruits firmness under the conditions of 2021 and 2023, while in 2022 the respective treatment had the highest effect on the Miruna plants. The treatment with Cropmax had the highest efficiency on the fruits firmness of the plants of Miruna in 2021-2022 and at Sorada plants in 2023.

During 2021-2022 at the plants of the Sorada hybrid, the highest positive effect of the interaction between mycorrhizal and fertilization with Algamax on the fruits firmness was observed, considering its superior use by the Tomtim plants in 2023. In the case of Banato hybrid plants fertilized with Cropmax, mycorrhizal caused a high increase in fruits firmness in 2021, while Cropmax fertilized plants of Miruna have exploited mycorrhizal at a high level in 2022-2023.

The plants of the Sorada hybrid fertilized with Cropmax have a high stability associated with a fruits firmness superior to the experience mean. The plants of the Ghittia variety mycorrhizal and unfertilized or fertilized with Cropmax show a good dynamic stability of the fruits firmness, achieving values higher than the general mean and correlated with the favorability of the environmental conditions. The genotype x environment interaction has shown a high influence on the fruits firmness in the mycorrhizal plants of the Sorada hybrid fertilized with Cropmax or unfertilized, under the conditions of specific adaptation to unfavorable environmental conditions.

The phenotypic expression of the sugar content under the favorable conditions of 2023 was mainly influenced by the genotype (39.81%), against the background of reduced contributions (2.29%) and fertilization (3.47%). During the period 2021-2022 the sugar content was influenced by fertilization (15.66-22.88%), followed by genotype (16.49-18.97%) and fertilization (1.52-4.8%) .

The efficiency of the treatment with Algamax was influenced by the genotype, against the background of high rates of sugar content in the fruits of Miruna (4.19-10.02%) in 2021 and 2023, and by Tomtim (13.11%) in 2022. Cropmax treatment has shown the highest positive effect on the amount of sugar in Ghittia fruits (9.72%) in 2021 and Tomtim (6.64%) in 2022, while under the effect of the conditions from 2023 this treatment had negative effects to all genotypes.

For the sugar content, the mycorrhizal was used at a higher level by the fertilized plants with Algamax of the Tomtim variety in 2021, Ghittia in 2022, Ghittia and Tomim in 2023, respectively. In the case of plants fertilized with Cropmax, mycorrhizal had the highest efficiency in terms of this trait at USAB29 plants in 2021, Ghittia in 2022 and Sorada in 2023.

The variability of the fruits sugar content was significantly influenced by the climatic conditions (58.56%) and at a lower level by the genotype (24.16%), against the background of an 17.28 % influence of the genotypes x years interaction. The non mycorrhizal and unfertilized plants of the USAB29 hybrid have a high stability associated with a sugar content superior to the experience mean, while in the non mycorrhizal and unfertilized plants of the Tomtim variety the stability was associated with values below the mean. The genotype x environment interaction has shown a high influence on the sugar content in the plants of Ghittia variety fertilized with Algamax as well as at those mycorrhizal and fertilized with Cropmax, indicating a specific adaptation to environmental conditions favorable for sugar accumulation. The unfertilized plants of the Banato hybrid as well as those fertilized with Algamax show an average stability associated with a sugar content superior to the general mean, presenting an adaptation associated with the favorability of the climatic conditions.

The negative effects of mycorrhizal and fertilization on the acidity of the fruits were lower (2.67-13.66%) in 2021-2022 and higher (11.67-25.1%) under the favorable conditions of 2023, considering a higher influence of Cropmax treatment. The increase rate of the fruit acidity under the effect of fertilization with Algamax presented the highest values on the USAB29 hybrid (60.53%) in 2021 and on Sorada (32.84-84.78%) in 2022-2023, respectively.

Under the favorable conditions of 2023 the negative effect of mycorrhizal on fruits acidity was higher in Tomtim and USAB29 plants fertilized with Algamax, while in 2022 the plants of the two varieties fertilized with Algamax registered a pronounced decrease of acidity under the effect of mycorrhizal. In the case of plants fertilized with Cropmax, mycorrhizal had the highest efficiency in terms of this trait in the plants of Banato in 2021 and Tomtim during 2022-2023. Under the effect of fertilization with Cropmax, mycorrhizal had a positive effect on the fruit acidity in Banato and Tomtim in 2021, at Ghittia in 2022 and USAB29 in 2023.

The genotype x year interaction has expressed the highest influence (40.71%) on the variation of the fruits acidity, while the influences of the climatic conditions (32.56%) and the genotype (26.73%) were lower. The non mycorrhizal and unfertilized plants of the Tomtim variety along with the plants of USAB29 hybrid fertilized with Algamax have a high stability associated with values of the fruits acidity above the mean, while in the unfertilized plants of Sorada and USAB29 hybrids, the high stability was associated with values below the general mean.

The non mycorrhizal and unfertilized plants of the Miruna and Banato hybrids manifests a good dynamic stability achieving values superior to the mean and correlated with the favorability of the environmental conditions, while in the mycorrhizal and unfertilized plants of the Miruna hybrid the dynamic stability is associated with an acidity of the fruits below the mean.

The variability of the sugar-acid index of the fruits was largely influenced by the genotype, against the background of contributions from 27.53% in 2021 to 39.72% in 2022, in the conditions where the effect of the genotype showed good stability in 2022-2023. The application of foliar fertilization showed a positive effect on the sugar-acid index, higher in 2023 (17.43%) and very low (0.85%) in 2021, in conditions of superiority for Cropmax. Mycorrhizal had a positive influence of 3.57% on this index in 2022 and a higher influence of 19.29% under 2021 conditions.

Plants of the Tomtim variety used the most efficient the treatment with Algamax, which generated an increase in fruit aroma in the conditions of 2021-2022, while in 2023, the respective treatment had the highest effect on Miruna plants. The treatment with Cropmax had the highest efficiency on the aroma index in Sorada fruits in 2021 and Tomtim in 2022, while in 2023 it had a negative effect on all genotypes.

In 2021-2022, the highest positive effect of the interaction between mycorrhizal and fertilization with Algamax on the sugar-acid index was observed for Ghittia fruits, taking into account a superior utilization of this treatment by Tomtim plants in 2022-2023. In the case of Ghittia variety plants fertilized with Cropmax,

mycorrhizal caused a high increase in fruit flavor in 2021, while mycorrhizal was capitalized at a high level in 2022 by the fertilized plants of USAB29 hybrid.

The genotypes x years interaction showed the highest influence (45.68%) on the variation of the sugar-acid index of the fruits, while the influences of climatic conditions (29.63%) and genotype (24.69%) were less. The mycorrhizal and unfertilized plants of the Tomtim variety show a high stability associated with an aroma index above the experience mean, while in the stability of non mycorrhizal and unfertilized plants of the Tomtim variety and Sorada hybrid, was associated with values lower than the general mean.

In the unfertilized and non-mycorrhizal plants of the Ghittia variety as well as in the mycorrhizal and Algamax-fertilized plants of the Banato hybrid, the dynamic stability was associated with an index below the experience mean. The mycorrhizal plants of Ghittia variety fertilized with Algamax as well as non-mycorrhizal plants fertilized with Cropmax of the Banato hybrid and Ghittia variety show a high instability of this index, being specifically adapted to environmental conditions favorable to a superior fruit aroma.

AUTHOR'S OWN CONTRIBUTIONS

The researches carried out offered the possibility of obtaining valuable results both in terms of the yield performance and fruit quality of the studied genotypes against the background of different treatments with mycorrhizae and biostimulators, as well as the stability of these traits and attributes under the effect of the genotype x environment interaction.

In less favorable climatic conditions such as those of 2022, the mycorrhizal and Cropmax-treated plants of the Sorada hybrid and the Ghittia variety together with the Sorada hybrid plants treated with Algamax recorded high yields of 2900-3466 g against the background of a large number of small-sized fruits, with good firmness, high sugar content and low acidity.

The mycorrhizal plants of the USAB29 hybrid fertilized with biostimulators, as well as those of the hybrid Banato mycorrhizal and fertilized with Cropmax, achieved against the background of less favorable climatic conditions, high yields of 2850-3090 g associated with an average number of fruits of approximately 200 g, medium firmness and high sugar content. The mycorrhizal plants of the Tomtim variety fertilized with Algamax, presented in the unfavorable conditions of 2022 the largest fruits with the highest sugar content and a reduced firmness, against the background of a yield by 2529 g.

During the study period, the mycorrhizal plants of Ghittia variety fertilized with Algamax showed a high stability associated with yields above the experience mean. The plants fertilized with Cropmax of the Banato and USAB29 hybrids were specifically adapted to favorable environmental conditions, registering a superior ability to capitalize these conditions by achieving high-performance yields.

In the case of mycorrhizal plants of Tomtim fertilized with Cropmax, as well as in the mycorrhizal and Algamax-fertilized plants of USAB29 hybrid, the low influence of the genotype x environment interaction was associated with a superior yield of 3129-3278 g.

The mycorrhizal and Cropmax-fertilized plants of the Tomtim variety and Banato hybrid the used most efficient the favorable climatic conditions of 2023, recording yield increases of 30-38%, against the background of a different yield structure, namely a greater number of small fruits in Banato hybrid and fewer and larger fruits in Tomtim variety.

The genotype x environment interaction showed a high influence on the sugar content in Ghittia plants fertilized with Algamax as well as in those mycorrhizal and fertilized with Cropmax, indicating their specific adaptation to environmental conditions favorable to sugar accumulation.

The fruits sugar content of the mycorrhizal plants from USAB29 fertilized with Cropmax and from the mycorrhizal plants of the Tomtim variety fertilized with Algamax, showed the highest stability against the background of a low variation of the interaction with climatic conditions.

In general, the four hybrids showed during the study period under the effect of different treatments a higher capacity to accumulate sugar in the fruits, compared to the two varieties. This finding is a consequence of the fact that in the process of obtaining these hybrid cultivars, the selection was made mainly for this fruit quality trait.

The achievement of the plant yield was significantly influenced by the number of fruits and their firmness, against the background of higher contributions in less favorable environmental conditions. As such, in order to obtain higher levels of production, technological works must be directed to ensure a high number of harvestable fruits per plant.