



UOT: 634.8:615.9

ÜZÜM BİTKİLƏRİNDƏ GLRaV-3 VİRUSUNA QARŞI ENDOGEN QEYRİ-FERMENTATİV ANTIOKSİDANT MÜDAFİƏ REAKSİYALARININ TƏDQIQI

Nərgiz Fəxrəddin Sultanova

XÜLASƏ

Tədqiqatın məqsədi - Üzüm bitkilərində GLRaV-3 virusunun endogen qeyri-fermentativ antioksidant müdafiə sistemlərinə təsirini öyrənmək, xüsusilə virusun təsiri ilə induksiya olunan stres şəraitində hüceyrədə AsT, GSH, TOC, MDA miqdarında baş verən dəyişiklikləri qiymətləndirmək olmuşdur.

Tədqiqatın metodologiyası – Üzüm bitkilərində virus infeksiyasının təsdiqi üçün AgriStrip testləri, DAS-ELISA və RT-PCR üsullarından istifadə edilmiş; vegetativ inkişaf mərhələsində AsT, GSH, TOC və MDA miqdarı biokimyəvi metodlarla müəyyən edilmişdir.

Tədqiqatın tətbiqi əhəmiyyəti - Bitkilərin virus infeksiyalarına qarşı fizioloji reaksiyalarının sistemli tədqiqi üzümçülükdə məhsuldarlığın optimallaşdırılması və effektiv antiviral müdafiə strategiyalarının işlənilməsinə elmi əsas yaradır.

Tədqiqatın nəticələri - GLRaV-3 virusunun təsirindən üzüm nümunələrində AsT, GSH, TOC, MDA miqdarının sağlam bitkilərlə müqayisədə əhəmiyyətli dərəcədə artması müəyyən edilmişdir.

Tədqiqatın elmi yeniliyi - GLRaV-3 virus infeksiyasına qarşı üzüm bitkilərinin endogen qeyri-fermentativ antioksidant müdafiə mexanizmlərinin və ASC–GSH–TOC triadasının virus səbəbli oksidləşdirici stres reaksiyasında rolunun kompleks qiymətləndirilməsi olmuşdur.

Açar sözlər: GLRaV-3, üzüm bitkisi, antioksidant müdafiə sistemi, oksidləşdirici stres, lipid peroksidləşməsi

Giriş.

Bitkilər, bütün canlı orqanizmlər kimi, vegetasiya dövrünün müxtəlif mərhələlərində viruslar, göbələklər, bakteriyalar, viroidlər və nematodlar daxil olmaqla müxtəlif biotik stres amillərinin təsirinə məruz qalırlar (Ali və b., 2024). Azərbaycanın bir çox bölgələrində geniş şəkildə becərilən və yüksək iqtisadi əhəmiyyətə malik olan üzüm bitkisi Cənubi Qafqaz regionunda qədim becərilmə tarixinə malik aparıcı bitkilərdən biri hesab olunur (Bayramova və b., 2021). Üzüm bitkisi təkcə simptomların təzahürü ilə deyil, həm də genom quruluşuna görə fərqlənən 90-dan artıq virus və virusa bənzər agentlərlə yoluxa bilər (Garcia və b., 2022). Bu virus növləri arasında 70-dən çox müsbət təkzəncirli genomlu virusların, 10-dan çox mənfi təkzəncirli RNT genomlu virusların, 2 növ ikizəncirli RNT genomlu virusların və 8 növ DNT genomlu virusların geniş yayılması müəyyən edilmişdir (Sultanova və b., 2024). Virus infeksiyaları həssas bitkilərdə xarakterik simptomların yaranmasına səbəb olur, metabolik və fizioloji prosesləri dəyişdirir, nəticədə məhsuldarlığın həcmi və keyfiyyətini əhəmiyyətli dərəcədə azaldır (Siddique və b., 2014). Xəstəliyin inkişaf dərəcəsi virus–sahib bitki qarşılıqlı əlaqəsindən, virusun virulentliyindən, bitki sortunun həssaslıq səviyyəsindən və infeksiyanın baş verdiyi vegetasiya mərhələsindən asılıdır (Montero və b., 2016). Hazırda birillik bitkilərdə virus–bitki qarşılıqlı təsirləri, eləcə də viral infeksiyaların bitkinin inkişafı və həyat dövrü boyunca yaratdığı təsirlər haqqında kifayət qədər geniş məlumatlar mövcuddur (Sultanova və b., 2019).

Bununla yanaşı, çoxillik bitkilərdə virus infeksiyalarının uzunmüddətli fizioloji və biokimyəvi təsirləri hələ də nisbətən zəif öyrənilmişdir (Ramzan və b., 2021). Çoxillik bitkilər birillik bitkilərdən fərqli olaraq uzunömürlüdür və viruslar bu bitkilərdə bir dəfə infeksiya baş verdikdən sonra bitkinin toxumalarında uzun müddət saxlanılır, vegetasiya dövrləri arasında qorunaraq qalır və bitkinin bütün vegetasiya dövrü boyunca mövcud ola bilər (Sahu və b., 2022).

¹Əsas müəllif/Corresponding author: Nərgiz Fəxrəddin Sultanova, ADNSU, sultanova.nargiz@asoju.edu.az, OrcID 0000-0002-4445-6902



Nəticədə, çoxillik bitkilərdə virus–sahib qarşılıqlı təsirləri mürəkkəb xarakter daşıyır, ətraf mühit faktorları və bitkinin hormonal balansına bağlı fizioloji tənzimləmələr nəticəsində formalaşır, bu isə birillik bitkilərdə müşahidə olunan patogenezin nisbətən sadə dinamikasından fərqlənir (Otulak-Kozieł və b., 2022).

Üzüm bitkilərində viral xəstəliklər, xüsusilə üzüm yarpaqlarının burulması xəstəliyi (GLD) bir çox ölkələrdə uzun müddətdir ki, davamlı məhsul istehsalına ciddi təhlükə yaradır (Maree və b., 2013). Bu xəstəlik iqtisadi əhəmiyyətli GLRaV virusları tərəfindən törədilir. *Closteroviridae* ailəsinə aid viruslar xarakterik yarpaq simptomları – damararası qırmızı rənglənmə, yarpaqların bükülməsi, saralması və mozaik ləkələrin əmələ gəlməsinə səbəb olur (Moutinho-Pereira və b., 2012). GLRaV-3 *Ampelovirus* cinsinə aiddir və GLRaV qrupunda əsas törədici viral agent kimi tanınır (Montero və b., 2016).

Virus əsasən həşəratlar (Homoptera: *Coccidae*), (Homoptera: *Pseudococcidae*) və ya peyvənd vasitəsilə ötürülə bilər (Hančević və b., 2022). GLD simptomlarının ifadə olunması mövsüm, üzüm sortu və iqlim şəraitindən asılıdır. Bəzi üzüm sortları, o cümlədən müəyyən baza kökləri (rootstock) və bəzi ağ *V. vinifera* sortları heç bir simptom göstərməyə bilər (Gilardi və b., 2020). İlk yarpaq simptomları yazın əvvəldən orta dövrünədək yaranır və payızın sonuna qədər tədricən güclənir. GLD yalnız vizual simptomlar yaratmır, həm də üzüm məhsuldarlığını və keyfiyyətini əhəmiyyətli şəkildə azaldır; bu da üzüm bağlarında onun iqtisadi təsirini azaltmaq üçün kompleks idarəetmə strategiyalarının vacibliyini göstərir (Sgherri və b., 2013).

Virus stressi hüceyrədə reaktiv oksigen növlərinin (ROS) həddindən artıq əmələ gəlməsini və toplanmasını stimullaşdırır; bunlara superoksid (O_2^-), hidrogen peroksid (H_2O_2), hidrosil radikalları ($\bullet OH$) və singlet oksigen (1O_2) daxildir (Montero və b., 2016). Bu isə hüceyrə funksiyalarının pozulmasına, hüceyrənin həyat fəaliyyətində əsas rol oynayan makromolekulların zədələnməsinə və eyni zamanda müdafiə mexanizmlərinin aktivləşməsinə gətirib çıxarır (Sharma və b., 2024). Virus stressi zamanı hüceyrədə ROS və antioksidant sistem arasındakı balans pozula bilər ki, bu da oksidləşdirici stresin yaranmasına səbəb olmaqla virusun hüceyrə strukturuna potensial zərər riskini artırır (Kuźniak və b., 2017). Viral infeksiya və ROS siqnalizasiyası arasındakı qarşılıqlı təsir mürəkkəb və dinamikdir, sahib orqanizmin effektiv antiviral cavab vermə qabiliyyətini və hüceyrə bütövlüyünü müəyyən edir (Guidi və b., 2021). ROS zülallar, membran lipidləri, karbohidratlar və nuklein turşularını oksidləşdirərək hüceyrə zədələnməsinə səbəb olur. Bitkilər ROS-un yaratdığı zərərləri minimuma endirmək üçün inkişaf etmiş antioksidant sistemlərə malikdir. Virus stressi hüceyrədə fotosintez, zülal sintezi və həll olan aşağı molekullu birləşmələrin akkumuliyasiyası kimi bir çox biokimyəvi və fizioloji prosesləri dəyişdirir (Shopova və b., 2020). ROS-un həddindən artıq toplanması zülal oksidləşməsinə və membranlarda lipid peroksidləşməsinə səbəb olur (Singh və b., 2024). Əvvəlki tədqiqatlar göstərmişdir ki, viral stres xlorofil (a, b və ümumi xlorofil) və karotenoid pigmentlərinin miqdarının azalmasına, nisbi su tutumunun (RWC) azalmasına və yarpaqlarda hidrogen peroksidin miqdarının əhəmiyyətli dərəcədə artmasına səbəb olur (Vega və b., 2011).

Virus infeksiyalarının sahib bitkilərdə fizioloji və biokimyəvi təsirləri geniş tədqiq olunsada, endogen ferment olmayan antioksidantların, xüsusilə askorbat–qlutation–tokoferol (ASC–GSH–TOC) triadasının bitkinin virus toleranlığındakı rolu hələ tam öyrənilməyib. Əvvəlki araşdırmalar əsasən tək antioksidantlara və ya fermentativ cavablara fokuslanmışdır (El Aou-Ouad və b., 2016); triadanın virus stressi şəraitində koordinasiya olunmuş fəaliyyəti isə məhdud tədqiq edilmişdir. Lakin son illərdə aparılan araşdırmalar ASC–GSH–TOC antioksidant sisteminin bakterial və göbələk patogenlərinə qarşı bitki müqavimətini artırmaqda iştirakını göstərməyə başlamışdır (Edmund və b., 2024).



AsT–GSH–TOC triadası inteqrasiya olunmuş redoks şəbəkəsi kimi fəaliyyət göstərir və hüceyrələri oksidləşdirici stressdən qoruyur (Cui və b., 2016). Askorbat oksidləşmiş tokoferolu azaldır və membranın qoruyucu funksiyasını qoruyur; qlutation askorbatı yenidən yaradır və redoks dövrüyəsini dəstəkləyir (Clarke və b., 2002). Tokoferollar membran lipidlərini peroksidləşmədən qoruyur, askorbat və qlutation isə redoks siqnalizasiyası, metabolik tənzimləmə və stres adaptasiyasında iştirak edir. Bu metabolitlər birlikdə ROS-u detoksifikasiya edən və həmçinin siqnal yollarının tənzimlənməsi və ikinci metabolit biosintezini kimi geniş tənzimləyici proseslərdə iştirak edən dinamik antioksidant sistemi təşkil edir (Christov və b., 2006).

Grapevine leafroll-associated virus 3 (GLRaV-3) üzüm bağlarında ən geniş yayılmış və iqtisadi ziyan verən viral patogenlərdən biridir. Virusun təsiri və yayılması, xüsusilə bitkilərin AsT–GSH–TOC antioksidant sistemini necə modulyasiya etdiyi haqqında məlumat məhduddur. Endogen müdafiə mexanizmlərinin tədqiqi virus–sahib qarşılıqlı təsirlərini və virus tolerantlığını müəyyən edən daxili faktorları öyrənmək üçün vacibdir (Chew və b., 2003).

Tədqiqatın məqsədi GLRaV-3 infeksiyasına qarşı üzüm bitkilərinin təbii antioksidant reaksiyalarını araşdırmaq, xüsusilə AsT–GSH–TOC triadasının koordinasiyalı fəaliyyəti və virus səbəbli oksidləşdirici stressə qarşı davamlılığı artırmaq potensialının qiymətləndirilməsi olmuşdur. Tədqiqat yerli Azərbaycan üzüm sortlarında GLRaV-3 ilə təbii infeksiyaya məruz qalmış bitkilərdə AsT–GSH–TOC triadasının geniş biokimyəvi profilini təqdim edən ilk işdir və region spesifik məlumatlar əsasında üzümçülük sahəsində virus stressinə qarşı sort əsaslı strategiyaların hazırlanmasına imkan yaradır.

Materiallar və metodlar. GLRaV-3 ilə əlaqəli üzüm yarpaq burulması xəstəliyinin (GLD) simptomlarının müəyyən edilməsi məqsədilə 2022–2023-cü illərdə Azərbaycanın əsas üzümçülük rayonlarında fitopatoloji monitorinqlər və fitosanitar məqsədli tədqiqatlar aparılmışdır. Klosteroviruslar üçün xarakterik simptomlar əsasında aparılan vizual diaqnostika nəticəsində 2023-cü ildə Şamaxı rayonundan ümumilikdə 64 bitki nümunəsi seçilmişdir. Nümunələr standart aqrotexniki tədbirlərin tətbiq olunduğu, təxminən 10 illik məhsuldar üzüm bağlarından toplanmışdır. Biokimyəvi analizlər üçün yarpaq nümunələri diqqətlə maye azotda laboratoriyaya daşınmış və analizlərə qədər ya maye azotda, ya da –80 °C temperaturda saxlanılmışdır. Analizlər yalnız AgriStrip, DAS-ELISA və RT-PCR metodları ilə GLRaV-3 pozitiv olduğu təsdiqlənmiş nümunələr üzərində aparılmışdır. Tədqiqat çərçivəsində üzüm bitkilərində digər viruslar aşkar edilməmişdir; bu səbəbdən əldə olunan nəticələr spesifik olaraq GLRaV-3 infeksiyasının fizioloji və biokimyəvi təsirlərini əks etdirir. Nəzarət qrupu kimi eyni sortdan olan, virusdan azad, eyni və ya yaxınlıqdakı üzüm bağlarından götürülmüş sağlam bitkilərdən istifadə edilmişdir. Bu yanaşma sort, vegetasiya mərhələsi və lokal ekoloji şəraitin mümkün təsadüfi təsirlərini minimuma endirməyə imkan vermişdir. Seroloji və molekulyar analizlərdən əvvəl yarpaq nümunələri 4 °C temperaturda 24 saatdan artıq saxlanmamışdır.

Virusun aşkarlanması və identifikasiyası. Toplanmış nümunələrdə GLRaV-3 infeksiyasının mövcudluğu istehsalçı təlimatlarına uyğun olaraq AgriStrip sürətli test sistemi, DAS-ELISA (double antibody sandwich enzyme-linked immunosorbent assay) və RT-PCR (reverse transcription–polymerase chain reaction) metodları ilə müəyyən edilmişdir.

AgriStrip analizi istehsalçının (Bioreba, Reinach, İsveçrə) təlimatlarına uyğun olaraq aparılmışdır. Bitkinin yarpaq toxumalarından dəstə daxil ekstraksiya buferi ilə alınmış ekstraktlar test zolağı ilə birbaşa təmas etdirilmiş və immunoxromatoqrafik kapilyar axın prinsipi əsasında analiz edilmişdir. Nümunədə hədəf virusun mövcudluğu halında test və nəzarət xətləri, mənfi nümunələrdə isə yalnız nəzarət xətti formalaşmışdır. Nəticələr 10–20



dəqiqə ərzində qiymətləndirilmiş və qeydə alınmışdır. GLRaV-3-ün ilkin aşkarlanması DAS-ELISA üsulu ilə də həyata keçirilmişdir. Analiz ədəbiyyatda təsvir edilmiş metodikaya (Sultanova və b., 2019) və anticisim istehsalçısının (Bioreba AG, Reinach, İsveçrə) təlimatlarına uyğun aparılmışdır. Reaksiya nəticələri əvvəlcə planşet üzərində vizual rəng dəyişməsi ilə qiymətləndirilmiş, daha sonra virusun bitki nümunəsində qatılığını təyin etmək məqsədilə 405 nm dalğa uzunluğunda absorbsiya dəyərləri ELISA spektrofotometrində (Stat Fax Microplate, Awareness Technology, ABŞ) ölçülmüşdür.

Total RNT 200 mq yarpaq toxumasından Trizol reaktiv (Invitrogen, ABŞ) istifadə olunmaqla ekstraksiya edilmiş və -80°C temperaturda saxlanılmışdır. RNT-nin miqdarı və təmizlik dərəcəsi NanoDrop spektrofotometri (Thermo Scientific, ABŞ) ilə müəyyən edilmişdir. RT-PCR analizi Sultanova (2019) metodikasına əsasən virus-spesifik LR3-9445c (5'-CTACTTCTTTTGCAATAGTT-3') və LR3-8504v (5'-ATGGCATTGAACTGAAATT-3') praymerlərindən istifadə edilməklə aparılmışdır. PCR məhsulları 1,5 % aqaroza gellərində (1×TBE tamponu) elektroforez olunmuş, etidium bromidlə boyanmış və UV-Gel Doc sistemi (Böyük Britaniya) vasitəsilə vizuallaşdırılmışdır. Amplikonların molekulyar çəkisi 2-log DNA Ladder (NEB, Böyük Britaniya) əsasında təyin edilmişdir.

Askorbin turşusunun (AST) miqdarının təyini. Bitki yarpaqları (0,5 g) 0,1 M Na-sitrat tampon məhlulunda (pH 3,69) əzilərək toplanmış və supernatant 12 500 g-də sentrifüqada 5 dəq müddətində çökdürülmüşdür. 500 µl supernatantın üzərinə 25 µl 1 % $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ və 25 µl 2 % NaF əlavə edilərək 5 dəq otaq temperaturunda inkubasiya edilmişdir. Sonra 50 µl 2 % FeCl_3 əlavə edilərək 1,9 ml distillə suyu ilə qarışdırılmış və 5 dəq inkubasiya edilmişdir. Optik sıxlıq 680 nm-də Thermo Scientific Evolution 350 UV-Vis spektrofotometrində ölçülmüşdür. Kalibr əyrisi 2 % əsas məhlullardan hazırlanmışdır. Askorbin turşusunun miqdarı aşağıdakı düsturla hesablanmışdır:

$$C = (K * V * X) / (m * \Delta m * L)$$

burada: C – 1 g yaş biokütlədə askorbin turşusunun miqdarı (µg), K – askorbin turşusunun konsentrasiyası (µg/ml), V – ümumi həcm (ml), X – durulaşma faktoru, L – optik sıxlıq, m – yaş biokütlə (g), Δm – quru biokütlənin yaş biokütləyə nisbətidir.

Qlutationun (GSH) miqdarının təyini. Bərpa olunmuş qlutationun (GSH) miqdarı 412 nm dalğa uzunluğunda spektrofotometrik üsulla, kommersiya reaktiv dəsti (Sigma-Aldrich, Cat. No. CS0260) istifadə edilməklə müəyyən edilmişdir. Reaksiya qarışığı kalium-fosfat tamponu, EDTA, NADFH, DTNB, qlutation reduktaza və 5-sulfosalisil turşusundan ibarət olmuşdur. Kalibrəmə əyrisi 0,5–20 µq/ml konsentrasiyalarda hazırlanmış GSH məhlulları əsasında qurulmuşdur.

Tokoferolların (TOC) miqdarının təyini. Tokoferolların miqdarı Emmeri–Engel reaksiyası əsasında müəyyən edilmişdir. Bu metod tokoferolların Fe^{3+} ionlarını Fe^{2+} ionlarına reduksiya etməsinə və 2,2'-dipiridil ilə qırmızı rəngli kompleks əmələ gətirməsinə əsaslanır. Əvvəlcə tokoferollar və karotinoidlər ksilen ilə ekstraksiya edilmiş və karotinoidlərin miqdarını müəyyən etmək üçün 460 nm dalğa uzunluğunda absorbsiya ölçülmüşdür. Daha sonra ferri xlorid əlavə edilərək 520 nm dalğa uzunluğunda oxunuş aparılmışdır. Standart kimi α -tokoferol istifadə edilmişdir.

Tokoferolun miqdarı aşağıdakı düsturla hesablanmışdır:

$$\text{Tokoferollar } (\mu\text{q/mq yaş kütlə}) = ((A_{520} - A_{460}) / A_{520} \text{ standart}) \times 0,29 \times 0,15$$

burada 0,29 ekstinksiya əmsalına əsaslanan çevirmə faktoru, 0,15 isə durulaşdırma və ekstraksiya həcmi nəzərə alan əmsaldır.

Lipid peroksidləşməsinin müəyyən edilməsi. Lipid peroksidləşməsinin intensivliyi sağlam və yoluxmuş yarpaq nümunələrində malondialdehidin (MDA) miqdarı ilə qiymətləndirilmişdir. MDA 0,5 % tiobarbiturik turşu ilə reaksiyaya daxil edilərək 532 və 600 nm dalğa

uzunluqlarında spektrofotometrik üsulla ölçülmüşdür. Hesablamalar aşağıdakı düstur əsasında aparılmışdır:

$$A = (D_{532} - D_{600}) / (E \times m)$$

burada A – MDA konsentrasiyası, D – optik sıxlıq, m – yaş biomassa, E – sabit əmsaldır.

Statistik analiz. Statistik analizlər SPSS proqram təminatında Studentin t-testi vasitəsilə aparılmışdır. Hər bir qrup üçün beş müstəqil bioloji təkrar (n = 5) istifadə edilmişdir. Nəticələr orta qiymət ± standart xəta (SE) şəklində təqdim edilmiş və fərqlər P < 0,05 səviyyəsində statistik əhəmiyyətli hesab edilmişdir.

Nəticələr və müzakirə. 2023-cü ilin vegetasiya mövsümündə üzüm bitkilərində virus infeksiyalarının yayılma səviyyəsini qiymətləndirmək məqsədilə Şamaxıda yerləşən üzüm bağlarında sistemli fitopatoloji müayinələr aparılmışdır. Tədqiqatlar həm qırmızı, həm də ağ üzüm sortları üzərində aparılmışdır; virus əlamətlərinə malik qırmızı Qara şanı, Mədrəsə və ağ Bayanşirə üzüm sortlarından nümunələr toplanmışdır. Yarpaq nümunələri 10 yaşlı, məhsuldar üzüm tənəklərindən toplanmış və virus infeksiyalarının xarakterik simptomları – yarpaq kənarlarının və saplaqların qızarması, vegetativ inkişafın zəifləməsi, yarpaqların bükülməsi, saralması və qıvrılması – müşahidə olunan bitkilər seçilmişdir (Şəkil 1).

Nümunə götürülməsi antioksidantlar və metabolitlərin gün ərzində dəyişkənliyinin minimuma endirilməsi məqsədilə səhər saat 09:00–11:00 intervalında, aydın hava şəraitində və 20–25 °C temperaturda həyata keçirilmişdir. Hər bir bitkidən tam inkişaf etmiş üç yetkin yarpaq götürülmüş, hər üzüm bağından isə beş bitki seçilərək bir eksperimental nümunə qrupu formalaşdırılmışdır. Viral infeksiya ilkin mərhələdə sürətli biraddımlı AgriStrip testi və DAS-ELISA üsulu ilə yoxlanılmışdır. Aparılan analizlər nəticəsində 64 üzüm nümunəsindən 21-də *Grapevine leafroll-associated virus 3* (GLRaV-3) aşkarlanmışdır.

Bu nəticələr sonradan spesifik praymerlərdən istifadə etməklə örtük zülalı (CP) geninin qismən ardıcılıqlarını hədəfləyən RT-PCR metodu ilə təsdiqlənmişdir. RT-PCR analizi eyni 21 nümunədə GLRaV-3 infeksiyasını təsdiqləmiş və orta yoluxma səviyyəsinin 32,8 % olduğunu göstərmişdir. DAS-ELISA analizləri nəticəsində müsbət müəyyən edilmiş bütün üzüm nümunələri RT-PCR analizində də təsdiqlənmiş və müvafiq olaraq eyni nümunələrdə virusun mövcudluğu müəyyən olunmuşdur. Sağlam nəzarət (kontrol) yarpaq ekstraktlarından əldə edilmiş nümunələrdə isə RT-PCR analizində heç bir DNT amplifikasiyası qeydə alınmamışdır ki, bu da tətbiq edilən diaqnostik metodların yüksək spesifikliyini və etibarlılığını təsdiq edir. DAS-ELISA analizində 405 nm dalğa uzunluğunda ölçülmüş optik sıxlıq (E_{405}) göstəricilərinə əsaslanan semikəmiyyət qiymətləndirmə virus yükünün sortlar üzrə fərqli olduğunu göstərmişdir. Virus yükü ağ üzüm sortu Bayanşirədə nisbətən aşağı olmuş ($E_{405} = 0,4-0,7$), qırmızı üzüm sortlarında — Mədrəsə və Qara şanı sortlarında isə daha yüksək səviyyədə qeydə alınmışdır ($E_{405} = 0,7-1,1$).

Şəkil 1. GLRaV-3 ilə yoluxmuş ağ (sağ) və qırmızı (sol) üzüm sortlarının yarpaqlarında müşahidə olunan virus simptomlarının fenotipik təsviri.



Mənbə: Müəllif tərəfindən çəkilmişdir.



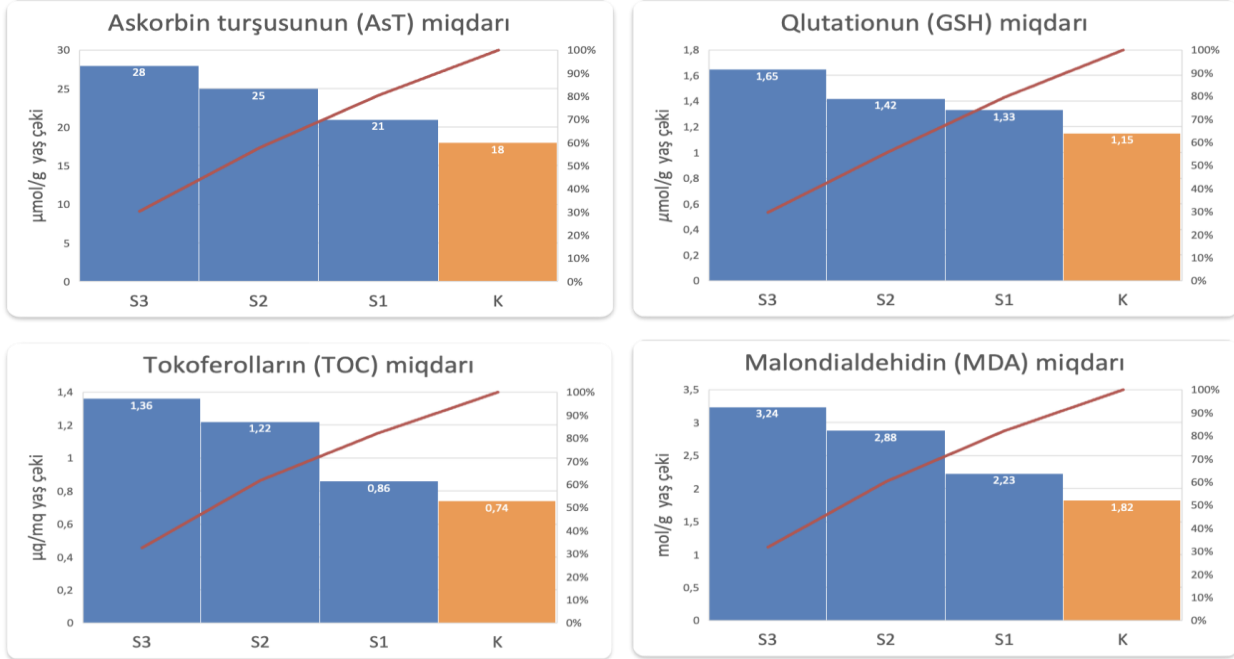
Bu nəticələr qırmızı üzüm sortlarının GLRaV-3 infeksiyasına daha həssas olduğunu və ya virusun bu sortlarda daha intensiv yayıldığını göstərir. Qeyd etmək lazımdır ki, ELISA testi birbaşa virusun tam genetik yükünü, məsələn, nüsxə sayı ilə ölçmür. Virus yükünün dəqiq qiymətləndirilməsi üçün kvantitativ molekulyar metodlardan, xüsusilə real-time qRT-PCR-dən istifadə olunur. Bu metodlarda virusun RNT nüsxə sayı standart əyriyədən istifadə etməklə hesablanır. Məsələn, qRT-PCR vasitəsilə müəyyən edilmiş GLRaV-3 virusunun yükü digər viruslarla müqayisədə minlərlə genom nüsxəsi səviyyəsində ola bilər. Virus genom nüsxələrinin hesablanmasında GAPDH (Glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase) kimi housekeeping geni daxili standart kimi istifadə oluna bilər.

Bitki-patogen qarşılıqlı əlaqəsinin və virus infeksiyasına qarşı fizioloji cavab mexanizmlərinin daha dərinlən öyrənilməsi məqsədilə biokimyəvi analizlər aparılmışdır. Bunun üçün fərdi təsərrüfat şəraitində (40°36'53" N, 48°33'51" E; 40.615° N, 48.564° E) yetişdirilən Mədrəsə üzüm sortundan aşağı (S1), orta (S2) və yüksək (S3) virus yükünə malik üç reprezentativ nümunə, eləcə də uyğun sağlam nəzarət nümunəsi (K) seçilmişdir.

Şəkil 2-də göstəriləyi kimi, GLRaV-3 ilə yoluxmuş bütün nümunələrdə qeyri-enzimatik antioksidantların — askorbin turşusu (AsT), qlutation (GSH) və tokoferolların (TOC) miqdarı nəzarət bitkiləri ilə müqayisədə əhəmiyyətli dərəcədə artmışdır. Virus yükünün artması ilə paralel olaraq bu metabolitlərin səviyyəsində mərhələli yüksəliş müşahidə olunmuş, ən yüksək göstəricilər S3 nümunəsində qeydə alınmışdır. Askorbin turşusunun miqdarı S3 nümunəsində maksimum səviyyəyə çatmış, GSH və TOC göstəriciləri də oxşar artım dinamikası nümayiş etdirmişdir.

Eyni zamanda lipid peroksidləşməsinin göstəricisi olan malondialdehidin (MDA) miqdarı virusla yoluxmuş bütün nümunələrdə nəzarət bitkiləri ilə müqayisədə əhəmiyyətli dərəcədə yüksəlmişdir. Xüsusilə S3 nümunəsində MDA səviyyəsinin kəskin artması virus infeksiyasının güclü oksidləşdirici stres yaratdığını göstərir. Qeyd olunan fakt onu göstərir ki, antioksidant sistemin aktivləşməsinə baxmayaraq, oksidləşdirici stres tam şəkildə kompensasiya olunmur və hüceyrə membranlarının zədələnməsi baş verir.

Şəkil 2. Vegetativ inkişaf mərhələsində sağlam nəzarət bitkilərində (K) və GLRaV-3 ilə yoluxmuş üzüm nümunələrində (S1, S2 və S3) askorbin turşusu (AST; $\mu\text{mol g}^{-1}$ yaş çəki), qlutation (GSH; $\mu\text{mol g}^{-1}$ yaş çəki), tokoferol (TOC; mg g^{-1} yaş çəki), və malondialdehidin (MDA; $\mu\text{mol g}^{-1}$ yaş çəki) miqdarı.



Mənbə: Müəllif tərəfindən hazırlanmışdır.

Ümumilikdə, əldə edilən nəticələr GLRaV-3 infeksiyasının üzüm bitkilərində endogen antioksidant müdafiə sistemini güclü şəkildə aktivləşdirdiyini, askorbat–qlutation–tokoferol triadasının oksidləşdirici stressə qarşı əsas qoruyucu mexanizmlərdən biri kimi çıxış etdiyini və virus yükünün artması ilə metabolik dəyişikliklərin intensivləşdiyini aydın şəkildə nümayiş etdirir. Şəkil 2-dən görüldüyü kimi, AsT-nin virus yükü daha çox olan S3 nümunəsində sağlam bitki ilə müqayisədə təxminən 1,56 dəfə, yəni 56% artması (**P < 0,001), qlutationun (GSH) miqdarının 1,43 dəfə, yəni 43% artması (**P < 0,001), tokoferolların (TOC) ümumi miqdarının 1,84 dəfə, yəni 84% artması (**P < 0,001) müəyyən edilmişdir. Bitkilərdə redoks proseslərinin tarazlığının qorunmasında fermentativ və qeyri-fermentativ antioksidantlar arasındakı qarşılıqlı əlaqə mühüm rol oynayır. Bu tədqiqatda hüceyrələrin oksidləşdirici stressə qarşı qorunmasında əsas rol oynayan antioksidant sisteminin əsas komponentlərini təşkil edən “askorbat–qlutation–tokoferol” triadasına xüsusi diqqət yetirilmişdir. Askorbat (ASC) güclü elektron donoru olub, reaktiv oksigen növlərini (xüsusilə H₂O₂ və singlet oksigeni) birbaşa neytrallaşdırmaq qabiliyyətinə malikdir (Bertamini və b., 2005). O, askorbat peroksidaza (APO) üçün substrat rolunu oynayaraq hidrogen peroksidin suya reduksiyasını təmin edir. Bu proses zamanı askorbat oksidləşərək monodehidroaskorbat və daha sonra dehidroaskorbat formasına keçir. Beləliklə, askorbat hüceyrədə ROS-un zərərli təsirini azaldan əsas reduksiyaedici agent kimi çıxış edir. Qlutation (GSH) isə tripeptid təbiətli reduktor olub, tiol (-SH) qrupunun yüksək reduksiya potensialı hesabına oksidləşdirici stressə qarşı effektiv müdafiə yaradır. Qlutation həm birbaşa ROS-un zərərsizləşdirilməsində, həm də oksidləşmiş askorbatın (dehidroaskorbatın) yenidən reduksiya olunmuş askorbat formasına qaytarılmasında iştirak edir (Bertamini və b., 2005). Bu proses dehidroaskorbat reduktaza fermenti vasitəsilə həyata keçirilir və qlutation bu zaman oksidləşmiş formaya (GSSG) çevrilir. Askorbat və qlutationun reduktor kimi qarşılıqlı fəaliyyəti Halliwell–Asada (askorbat–qlutation) dövrünün əsasını təşkil edir. Bu dövr hüceyrədə davamlı reduksiya mühitinin saxlanmasına, antioksidantların yenilənməsinə və membranların, zülalların və



nukleın turşularının oksidləşdirici zədələnmədən qorunmasına şərait yaradır (Edmund və b., 2024).

Bu baxımdan, askorbat və qlutation bitki hüceyrəsində oksidləşdirici stresə qarşı əsas redoks bufer sistemi kimi qiymətləndirilir. Tədqiqatlar nəticəsində virus yükü daha çox olan S3 nümunəsində malondialdehidin (MDA) də miqdarının sağlam bitki nümunəsi ilə müqayisədə 78% olmaqla (***)P < 0,001 əhəmiyyətli dərəcədə artması (1,78 dəfə) müəyyən edilmişdir (Şəkil 2). Beləliklə, askorbat və qlutation reduktor kimi fəaliyyət göstərərək reaktiv oksigen növlərini (ROS) neytrallaşdırır, tokoferol isə membran sabitləşdirici rol oynayaraq lipidlərin oksidləşməsinin qarşısını alır. Bu antioksidantlar yalnız ayrı-ayrılıqda deyil, həm də qarşılıqlı təsir göstərərək müdafiə mexanizmlərini gücləndirirlər.

Tokoferollar antioksidant aktivliyinə görə duzluluq, quraqlıq, metal toksikliyi, ozon və ultrabənövşəyi şüalanma kimi müxtəlif biotik və abiotik stres amillərinə qarşı davamlılığın formalaşmasında mühüm rol oynayır (Edmund və b., 2024). Onlar bitkilərin böyüməsinə, fizioloji proseslərinə və ümumi məhsuldarlığına təsir göstərən çoxşaxəli funksiyalara malikdirlər (Bertamini və b., 2004), həmçinin siqnal ötürülməsi və gen ekspressiyasının tənzimlənməsində iştirak edirlər. Tədqiqatımızda tokoferolun (TOC) miqdarı yoluxmuş bütün bitkilərdə nəzarət variantı ilə müqayisədə əhəmiyyətli dərəcədə artmışdır (***)P < 0,001).

Askorbin turşusu (AsT, vitamin C) viral infeksiyalar zamanı həm də ferment kofaktoru və siqnal tənzimləyicisi kimi çıxış edərək fitohormon sintezi ilə müxtəlif siqnal yollarının fəaliyyətini əlaqələndirir (Caverzan və b., 2012). Ədəbiyyat məlumatları stresə davamlı genotiplərdə AsT-nin daha yüksək miqdarda olmasının onun bitkinin böyüməsi, inkişafı və dəyişkən mühit şəraitinə uyğunlaşmanın tənzimlənməsində mühüm rol oynadığını göstərir (Carvalho və b., 2015). Askorbin turşusu bitki hüceyrələrində əsasən mitoxondrilərdə sintez olunur və sintezdən sonra xloroplastlar da daxil olmaqla hüceyrənin müxtəlif kompartimentlərinə, o cümlədən apoplast və hüceyrə divarına yayılır. Bitkilərdə əsas metabolitlərdən biri olan askorbat askorbat–qlutation yolu vasitəsilə digər antioksidant sistem komponentləri ilə qarşılıqlı əlaqədə iştirak edərək oksidləşdirici stresə qarşı qoruyucu funksiyaları yerinə yetirir.

Qlutation (GSH) sitozol, endoplazmatik retikulum, vakuol, mitoxondri, xloroplast və peroksisomlar daxil olmaqla müxtəlif hüceyrə kompartimentlərində lokalizə olunan üçamin turşulu tiol birləşmədir və hüceyrə ölümü, hüceyrə differensiasiyası, patogenlərə qarşı davamlılıq, həmçinin fermentativ proseslərin tənzimlənməsi kimi bir sıra fundamental fizioloji proseslərdə mühüm rol oynayır (Barisova və b., 2012). Bu çoxfunksiyalı molekul bitkilərdə viral infeksiya zamanı yaranan reaktiv oksigen növlərinin zərərsizləşdirilməsində iştirak edən əsas antioksidant komponentlərdən biridir. Əldə olunan nəticələr virus infeksiyasına cavab olaraq antioksidant molekullar arasında formalaşan dinamik qarşılıqlı əlaqəni nümayiş etdirir və qlutation ilə askorbin turşusunun bitkilərdə oksidləşdirici stresin azaldılmasında aparıcı rol oynadığını təsdiqləyir.

Antioksidant tutumun artmasına baxmayaraq, yoluxmuş bütün nümunələrdə malondialdehidin (MDA) səviyyəsinin əhəmiyyətli dərəcədə yüksəlməsi GLRaV-3 infeksiyasının lipid peroksidləşməsinə gücləndirdiyini və yaranan oksidləşdirici zədələnmənin antioksidant müdafiə sistemi tərəfindən tam kompensasiya olunmadığını göstərir. Eyni zamanda, tokoferolun miqdarının paralel artması onun membran lipidlərinin stabilləşdirilməsində və lipid peroksidləşməsinin məhdudlaşdırılmasında mühüm qoruyucu rol oynadığını təsdiqləyir. Oxşar nəticələr Karar A. Hamzah (2021) tərəfindən aparılmış tədqiqatda da müşahidə edilmişdir; həmin tədqiqatda Bean yellow mosaic virusu ilə yoluxdurulmuş paxlalı bitkilərin yarpaqlarında MDA səviyyəsinin yüksəlməsi oksidləşdirici stresin artdığını göstərmiş, ekzogen antioksidantların tətbiqi isə MDA səviyyəsinin



əhəmiyyətli dərəcədə azalmasına səbəb olmuşdur. Müəlliflər həmçinin yoluxdurulmuş bitkilərdə MDA-nın zamanla ardıcıl şəkildə yığılaraq nəzarət bitkiləri ilə müqayisədə xeyli yüksək qalmasını vurğulamışlar.

Yekun nəticə. Aparılan tədqiqat işləri nəticəsində üzüm bitkilərində virus infeksiyası ilə əlaqəli lipid peroksidləşməsi və bitkinin qeyri-fermentativ antioksidant müdafiə reaksiyaları qiymətləndirmişdir. Virusla induksiya olunan stres nəticəsində endogen askorbat, qlutation və tokoferolların miqdarının əhəmiyyətli dərəcədə artması GLRaV-3 infeksiyasına qarşı redoks cavab reaksiyalarının koordinasiya olunmuş şəkildə baş verdiyini təsdiqləyir.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Ali, Q., Sami, A., Haider, M.Z. et al. (2024). Antioxidant production promotes defense mechanism and different gene expression level in *Zea mays* under abiotic stress, *Sci Rep.*, 14, 7114
2. Bayramova, N.K., Sultanova, N.F., Aliyeva, D.R., Huseynova, I.M. (2021). Lipid peroxidation level and peroxidase activity in (*Vitis vinifera* L.) leaves infected with Grapevine Leafroll-Associated Virus 3, *Indian J. Sci. Technol.*, 14(36), 2842–2849
3. Bertamini, M., Malossini, U., Muthuchelian, K., Nedunchezian, N. (2005). Physiological response of field-grown grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Marzemino) to grapevine leafroll-associated virus (GLRaV-1), *Phytopathol. Mediterr.*, 44, 256–265
4. Bertamini, M., Muthuchelian, K., Nedunchezian, N. (2004). Effect of grapevine leafroll on the photosynthesis of field-grown grapevine plants (*Vitis vinifera* L. cv. Lagrein), *J. Phytopathol.*, 152, 145–152
5. Borisova, M., Kozuleva, M., Rudenko, N., Naydov, I., Klenina, I., Ivanov, B. (2012). Photosynthetic electron flow to oxygen and diffusion of hydrogen peroxide through the chloroplast envelope via aquaporins, *Biochim. Biophys. Acta (BBA) - Bioenergetics*, 1817(8), 1314–1321
6. Carvalho, L.C., Vidigal, P., Amâncio, S. (2015). Oxidative stress homeostasis in grapevine (*Vitis vinifera* L.), *Front. Environ. Sci.*, 3, 1–15
7. Caverzan, A., Passaia, G., Rosa, S.B., Ribeiro, C.W., Lazzarotto, F., Margis-Pinheiro, M. (2012). Plant responses to stresses: Role of ascorbate peroxidase in the antioxidant protection, *Genet Mol Biol.*, 35(4), 1011–1019
8. Chew, O., Whelan, J., Millar, A.H. (2003). Molecular definition of the ascorbate-glutathione cycle in *Arabidopsis* mitochondria reveals dual targeting of antioxidant defenses in plants, *J. Biol. Chem.*, 278(47), 46869–46877
9. Christov, I., Stefanov, D., Velinov, T., Goltsev, V., Georgieva, K., Abracheva, P., Genova, Y., Christov, N. (2006). The symptomless leaf infection with grapevine leafroll associated virus 3 in grown in vitro plants as a simple model system for investigation of viral effects on photosynthesis, *J. Plant Physiol.*, 164, 1124–1133
10. Clarke, S.F., Guy, P.L., Burritt, D.J., Jameson, P.E. (2002). Changes in the activities of antioxidant enzymes in response to virus infection and hormone treatment, *Physiol. Plant.*, 114, 157–164
11. Cui, Z.H., Bi, W.L., Hao, X.Y., Xu, Y., Li, P.M., Walker, M.A., Wang, Q.C. (2016). Responses of in vitro-grown plantlets (*Vitis vinifera*) to Grapevine leafroll-associated virus-3 and PEG-induced drought stress, *Front. Physiol.*, 7, 203
12. Edmund, K., Katarzyna, O., Piotr, R. (2024). Glutathione-the “master” antioxidant in the regulation of resistant and susceptible host-plant virus-interaction, *Front. Plant Sci.*, 15, n



13. El Aou-Ouad, H., Montero, R., Medrano, H., Bota, J. (2016). Interactive effects of grapevine leafroll-associated virus 3 (GLRaV-3) and water stress on the physiology of *Vitis vinifera* L. cv. Malvasia de Banyalbufar and Giro-Ros, *J. Plant Physiol.*, 196-197, 106–115
14. García, J.A., Garrido, I., Ortega, A., Del Moral, J., Llerena, J.L., Espinosa, F. (2022). Physiological and Molecular Responses of *Vitis vinifera* cv. Tempranillo Affected by Esca Disease, *Antioxidants (Basel)*, 11(9), 1720
15. Gilardi, G., Chitarra, W., Moine, A., Mezzalama, M., Boccacci, P., Gullino, M.L., Gambino, G. (2020). Biological and the molecular interplay between two viruses and powdery and downy mildews in two grapevine cultivars, *Hortic. Res.*, 7(188), 1-13
16. Guidi, L., Tattini, M. (2021). Antioxidant Defenses in Plants: A Dated Topic of Current Interest, *Antioxidants (Basel)*, 10(6), 855
17. Hamzah, K.A., Younes, H.A., Behiry, S.L., Abdelkhalek, A. (2021). Act of malondialdehyde and total phenolic content under bean yellow mosaic virus infection and biostimulants application, *Egyptian Academic J. Biol. Sci., H. Botany*, 2(1), 39–42
18. Hančević, K., Čarija, M., Radić Brkanac, S., Gaši, E., Likar, M., Zdunić, G., Regvar, M., Radić, T. (2022). Grapevine leafroll-associated virus 3 in single and mixed infections triggers changes in the oxidative balance of four grapevine varieties, *Int J Mol Sci.*, 24(1), 8
19. Kuźniak, E., Kopczewski, T., Chojak-Koźniewska, J. (2017). Ascorbate-Glutathione Cycle and Biotic Stress Tolerance in Plants. In: Hossain, M., Munné-Bosch, S., Burritt, D., Diaz-Vivancos, P., Fujita, M., Lorence, A. (eds) *Ascorbic Acid in Plant Growth, Development and Stress Tolerance*, Springer, Cham: 201–231
20. Marea, H.J., Almeida, R.P.P., Bester, R., Chooi, K.M., Cohen, D., Dolja, V.V., Fuchs, M.F., Golino, D.A., Jooste, A.E.C., Martelli, G.P. et al. (2013). Grapevine leafroll-associated virus 3, *Front. Microbiol.*, 4, 82
21. Montero, R., El Aou-Ouad, H., Flexas, J., Bota, J. (2016). Effects of grapevine leafroll associated virus 3 (GLRaV-3) on plant carbon balance in *Vitis vinifera* L. cv. Giró Ros, *Theor. Exp. Plant Physiol.*, 28: 1–10
22. Montero, R., Pérez-Bueno, M.L., Barón, M., Florez-Sarasa, I., Tohge, T., Fernie, A.R., El Aou-Ouad, H., Flexas, J., Bota, J. (2016). Alterations in primary and secondary metabolism in *Vitis vinifera* 'Malvasía de Banyalbufar' upon infection with Grapevine leafroll-associated virus 3, *Physiol. Plant.*, 157(4), 442–452
23. Moutinho-Pereira, J., Correia, C.M., Gonçalves, B., Bacelar, E.A., Coutinho, J.F., Ferreira, H.F., Lousada, J.L., Cortez, M.I. (2012). Impacts of leafroll-associated viruses (GLRaV-1 and -3) on the physiology of the Portuguese grapevine cultivar 'Touriga Nacional' growing under field conditions, *Ann. Appl. Biol.*, 160, 237–249
24. Otulak-Kozieł, K., Kozieł, E., Przewodowski, W., Ciacka, K., Przewodowska, A. (2022). Glutathione Modulation in PVYNTN Susceptible and Resistant Potato Plant Interactions, *Int J Mol Sci.*, 23(7), 3797
25. Ramzan, M., Sana, S., Javaid, N. et al. (2021). Mitigation of bacterial spot disease induced biotic stress in *Capsicum annum* L. cultivars via antioxidant enzymes and isoforms, *Sci Rep.*, 11, 9445
26. Sahu, P.K., Jayalakshmi, K., Tilgam, J., Gupta, A., Nagaraju, Y., Kumar, A., Hamid, S., Singh, H.V., Minkina, T., Rajput, V.D., Rajawat, M.V.S. (2022). ROS generated from biotic stress: Effects on plants and alleviation by endophytic microbes, *Front. Plant Sci.*, 13, n
27. Sgherri, C., Ranieri, A., Quartacci, M.F. (2013). Antioxidative responses in *Vitis vinifera* infected by grapevine fanleaf virus, *J. Plant Physiol.*, 170(2), 121–128



28. Sharma, V., Mohammed, S.A., Devi, N. et al. (2024). Unveiling the dynamic relationship of viruses and/or symbiotic bacteria with plant resilience in abiotic stress, *Stress Biol.*, 4(10), 1–23
29. Shopova, E., Mihailova, B., Todorova, D., Sergiev, I., Stoimenova, E. (2020). Systemic Acquired Resistance Induced by compatible and incompatible tomato mosaic viruses effectively controls bacterial spot and speck diseases in tomato, *Agriculture*, 10(7), 302
30. Siddique, Z., Akhtar, K.P., Hameed, A., Sarwar, N., Imran-Ul-Haq, Khan, S.A. (2014). Biochemical alterations in leaves of resistant and susceptible cotton genotypes infected systemically by cotton leaf curl Burewala virus, *J. Plant Interact.*, 9(1), 702–711
31. Singh, K., Gupta, R., Shokat, S., Iqbal, N., Kocsy, G., Pérez-Pérez, J.M., Riyazuddin, R. (2024). Ascorbate, plant hormones and their interactions during plant responses to biotic stress, *Physiol. Plant.*, 176(4), 1–16
32. Sultanova, N., Bayramova, N.K., Aliyeva, D.R., Rastgou, M., Huseynova, I.M. (2019). Induced changes in metabolic constituents of grapevine (*Vitis vinifera* L.) leaves infected with grapevine leafroll-associated virus-3, *Physiol. Mol. Plant Pathol.*, 106, 57–63
33. Sultanova, N., Rastgou, M., Huseynova, I. (2024). Occurrence of single and mixed viral infections of grapevine (*Vitis* spp.) in Azerbaijan, *Pol. J. Environ. Stud.*, 33(3), 1–9
34. Vega, A., Gutiérrez, R.A., Peña-Neira, A., Cramer, G.R., Arce-Johnson, P. (2011). Compatible GLRaV-3 viral infections affect berry ripening decreasing sugar accumulation and anthocyanin biosynthesis in *Vitis vinifera*, *Plant Mol. Biol.*, 77, 261–274

INVESTIGATION OF ENDOGENOUS NON-ENZYMATIC ANTIOXIDANT DEFENSE REACTIONS AGAINST GLRAV-3 VIRUS IN GRAPEVINE

SUMMARY

The purpose of the research - The study aimed to investigate the effects of GLRaV-3 virus on endogenous non-enzymatic antioxidant defense systems in grapevine, particularly focusing on changes in Ascorbate (AsA), Glutathione (GSH), Tocopherol (TOC), and Malondialdehyde (MDA) levels under virus-induced stress conditions.

The methodology of the research - Virus infection in grapevine was confirmed using AgriStrip tests, DAS-ELISA, and RT-PCR methods. During the vegetative growth stage, the levels of AsA, GSH, TOC, and MDA were determined using standard biochemical assays.

The practical importance of the research - Systematic investigation of grapevine physiological responses to viral infections provides a scientific basis for optimizing vineyard productivity and developing effective antiviral defense strategies.

The results of the research - GLRaV-3 infection significantly increased the levels of AsA, GSH, TOC, and MDA in grapevine samples compared to healthy plants.

The scientific novelty of research - The study provides a comprehensive evaluation of grapevine endogenous non-enzymatic antioxidant defense mechanisms and the role of the AsA–GSH–TOC triad in virus-induced oxidative stress responses.

Keywords: GLRaV-3, grapevine, antioxidant defense system, oxidative stress, lipid peroxidation

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНДОГЕННЫХ НЕФЕРМЕНТАТИВНЫХ АНТИОКСИДАНТНЫХ ЗАЩИТНЫХ РЕАКЦИЙ У ВИНОГРАДА ПРОТИВ ВИРУСА GLRAV-3

РЕЗЮМЕ

Цель исследования - Целью исследования было изучение влияния вируса GLRaV-3 на эндогенные неферментативные антиоксидантные системы защиты у винограда, с особым вниманием к изменениям уровней аскорбата (AsA), глутатиона (GSH), токоферолов (TOC) и малондиальдегида (MDA) при стрессовых условиях, индуцированных вирусом.



Методология исследования - Инфекция вирусом у винограда подтверждалась с помощью тестов AgriStrip, DAS-ELISA и метода RT-PCR. На вегетативной стадии роста винограда уровни AsA, GSH, TOC и MDA определялись стандартными биохимическими методами.

Важность исследовательского приложения - Системное изучение физиологических реакций винограда на вирусные инфекции создает научную основу для оптимизации продуктивности виноградников и разработки эффективных стратегий антивирусной защиты.

Результаты исследования - Влияние вируса GLRaV-3 привело к значительному увеличению уровней AsA, GSH, TOC и MDA в образцах винограда по сравнению с здоровыми растениями.

Научная новизна исследования - Работа представляет комплексную оценку эндогенных неферментативных антиоксидантных механизмов защиты винограда и роли триады AsA–GSH–TOC в реакциях окислительного стресса, вызванного вирусной инфекцией.

Ключевые слова: GLRaV-3, виноград, система антиоксидантной защиты, окислительный стресс, перекисное окисление липидов

Məqalə daxil olmuşdur: 08.02.2026

Təkrar işləməyə göndərilmişdir:

12.02.2026

Çapa qəbul edilmişdir: 26.02.2026

Дата поступления статьи в

редакцию: 08.02.2026

Отправлено на повторную

обработку: 12.02.2026

Принято к печати: 26.02.2026

The date of the admission of the

article to the editorial office:

08.02.2026

Send for reprocessing: 12.02.2026

Accepted for publication: 26.02.2026