

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

**RADİASİYA VƏ DUZ STRESLƏRİNİN TƏSİRİNƏ MƏRUZ
QALMIŞ NOXUD VƏ QARĞIDALI BİTKİLƏRİNDƏ
ANTIOKSİDANT MÜDAFİƏ SİSTEMİNİN TƏDQIQI**

İxtisas: 2418.01 – Radiobiologiya

Elm sahəsi: 24 – Biologiya elmləri

İddiaçı: **Mehriban Zəbulla qızı Vəlicanova**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2022

Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Radiasiya Problemləri İnstitutunun Radiobiologiya laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbərlər: Biologiya elmləri doktoru, professor
Elimxan Süleyman oğlu Cəfərov
Biologiya elmləri doktoru, dosent
Həsən Qərib oğlu Babayev

Rəsmi opponentlər: 1. AMEA-nın müxbir üzvü, biologiya elmləri doktoru, professor
İbrahim Vahab oğlu Əzizov
2. Biologiya elmləri doktoru, professor
Namik Məmməd oğlu Rəşidov
3. Biologiya elmləri doktoru, professor
Məcnun Şıxbaba oğlu Babayev

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Radiasiya Problemləri İnstitutunun nəzdində yaradılmış birdəfəlik BFD 3.07 Dissertasiya Şurası

Dissertasiya şurasının sədri: Biologiya elmləri doktoru, professor

İradə Nurəddin qızı Əliyeva

Dissertasiya şurasının elmi katibi: Biologiya elmləri doktoru

Sevil Akif qızı Məmmədli.

Elmi seminarın sədri: Biologiya elmləri doktoru, professor

Tokay Məhəmməd oğlu Hüseynov

GİRİŞ

Problemin aktuallığı. Bitkilər inkişaf prosesində onların böyüməsinə, inkişafına, məhsul verməsinə və məhsuldarlığına mənfi təsir göstərən duzluluq, quraqlıq, yüksək və alçaq temperatur, ağır metallar, UB və radioaktiv şüalanma və s. kimi ekoloji amillərlə üzləşirlər. Bütün bunlar isə sürətli insan artımının qida maddələrinə olan tələbatını və onların qida təminatını təhlükə altına alır. Əksər kənd təsərrüfatı bitkilərinin duz stresinə həssas olmasını nəzərə alsaq, yüksək duzluluğun ətraf mühitin ən kəskin abiotik amillərindən birinin olması fikrini söyləmək mümkündür.

Məlumdur ki, torpaqda, adətən, müəyyən miqdarda həllolunmuş formada duzlar olur ki, bu da torpağın duzluluğunu müəyyən edir. Müəyyən edilmişdir ki, bu gün dünya üzrə ümumi torpaqların 6 % -i, suvarılan torpaqların isə üçdə bir hissəsi bu və ya digər dərəcədə şoranlaşmışdır¹. Əkin sahələri arasında isə suvarılan torpaqların 20 %-i, quru ərazilərin isə 2 %-i birbaşa və dolayı yolla duzlaşmaya məruz qalmışdır². Nəzərə alsaq ki, torpaqların şoranlaşması iqlim dəyişmələri və əsasən də kənd təsərrüfatı işlərinin düzgün aparılmaması nəticəsində günbəgün daha da kəskinləşir, onda bu problemin ciddiliyi daha qabarıq şəkildə özünü biruzə verir. Hesab olunur ki, təxirəsalınmaz tədbirlər görülməsə, XXI əsrin ortalarında əkin sahələrinin təxminən 50 %-i şoranlaşacaqdır³.

Qeyd edək ki, torpaqların şoranlaşması Respublikamız üçün də xarakterikdir. Belə ki, ərazi torpaqlarımızın ~522 min hektarı bu və ya digər dərəcədə şoranlaşmaya məruz qalmışdır⁴. Hesab olunur ki, yaxın gələcəkdə bu rəqəmin ~662 min hektara çatması (Respublika

¹Иванов Ю.В., Карташов, А.В., Савочкин, Ю.В. Устойчивость всходов *Pinus silvestris* и *Picea abies* к солевому стрессу. Лесной вестник. 2010. №3, с. 119-122.

²Munns R., Tester M. Mechanism of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology. 2008. 59, p. 651-681.

³Mahajan S., Tuteja N. Cold, salinity and drought stresses: an overview. Archives of Biochemistry and Biophysics. 2005. 444, p. 139-158.

⁴Əzizov Q.Z. Azərbaycanın şoranlaşmış torpaqlarının duzluluq dərəcəsi və tipinə görə təsnifatı. Bakı: 2002. 29 s.

ərazisinin 46,6 %-ni təşkil etməsi) gözlənilir⁵.

Torpaqların şoranlığının kənd təsərrüfatı bitkilərinin inkişafı və məhsuldarlığı üçün böyük təhlükə olmasını nəzərə alaraq, son illər şoranlıq stresinin neqativ təsirini azaltmağa yönəlmiş cəhdlər üstünlük təşkil edir. Duz stresinin bitkilərin boyatma və inkişafına mənfi təsirinin, qismən də olsa, azaldılmasına edilən cəhdlərin arasında qamma şüalanmadan istifadə olunmasına xüsusi önəm verilir. Bunun səbəbi, ilk növbədə, yüksək enerjili fotonlardan ibarət olan qamma şüaların sərbəst şəkildə canlı toxumalara nüfuz etməklə, onlarla qarşılıqlı təsirdə ola bilən ionlaşdırıcı şüalanma olmasıdır. Müəyyən edilmişdir ki, yüksək şüalanma dozalarında bu qarşılıqlı təsir nəticəsində bitkilərin böyümə sürəti və reproduktivlik qabiliyyəti azalır, DNT –də zədələnmələr və morfoloji dəyişikliklər baş verir⁶. Aşağı dozalarda isə, əksinə, qamma şüalanma fizioloji və biokimyəvi proseslərə stimullaşdırıcı təsir göstərməklə bitkilərin böyüməsini və inkişafını sürətləndirə bilir (“hormesis” hadisəsi)⁷.

Bitkilərin duzadavamlılığının artırılmasına və yaxud da duz stresinin neqativ təsirinin azaldılmasına yönəlmiş tədbirlər, konkret olaraq, bu məqsədlə radioaktiv şüalanmadan istifadə edilməsi, aydındır ki, fizioloji, biokimyəvi proseslərə əsaslanan tədqiqatların aparılmasını tələb edir. Qeyd olunur ki, bu günə qədər fiziki mutagen kimi qamma şüalanmadan istifadə etməklə bir çox bitkilərin duzadavamlılığının artırılmasına, onun morfogenetik potensialının və fizioloji xüsusiyyətlərinin yaxşılaşdırılmasına edilən cəhdlərin və aparılan tədqiqatların əksəriyyəti ciddi olmamışdır⁸. Həmçinin də duz artıqlığının bitki hüceyrələrində ciddi metabolik dəyişmələr yarada bilməsinə, belə şəraitdə bitki hüceyrələrində lipidlərin

⁵Məmmədov Q.Ş. Torpaqsünəslilik və torpaq coğrafiyasının əsasları / Bakı: Elm, 2007. 664 s.

⁶Wi S.G. et al. Effects gamma irradiation on morphological changes and biological responses in plants. *Micron*, 2007. 38 (6), p. 553-564.

⁷Calabrese E.J. Hormesis: changing view of dose-response, a personal account of the history and current status. *Mutation Research*. 2002. 511(3), p.181-189.

⁸Helaly M.N.M. and A.M.R. Hanan El-Hosieny. Effectiveness of Gamma Irradiated Protoplasts on Improving Salt Tolerance of Lemon (*Citrus limon* L. Burm.f.). *American Journal of Plant Physiology*, 2011. 6 (4), p. 190-208.

peroksid oksidləşməsinin sürətlənməsinə, oksigenin müxtəlif fəal formalarının yaranması ilə nəticələnən sərbəst radikal oksidləşmə proseslərinin aktivləşməsinə dair məlumatların olmasına baxmayaraq⁹, bitkilərin yüksək duzluluq şəraitinə adaptasiya mexanizmlərinin öyrənilməsində və radiasiya amilinin bu prosesdə rolunun detallarının dəqiqləşdirilməsində də arzuolunan nəticələr əldə etmək mümkün olmamışdır. Əlavə olaraq, oksigenin fəal formalarının toplanmasının hüceyrənin stres amilin təsirinə ilkin reaksiyası hesab olunmasına baxmayaraq¹⁰, onların yaranması, sərbəst radikal oksidləşmə proseslərinin sürətlənməsi, ferment aktivliklərinin dəyişməsi və s. kimi suallar da mübahisə doğuran suallardır. Bu səbəbdən də toxumların səpindən əvvəl gamma şüalarla işlənməsinin bitkilərin yüksək duzluluq şəraitinə adaptasiya olunmasında rolunun aydınlaşdırılması və belə halda adaptasiya mexanizmlərinin detallarının araşdırılması yüksək elmi əhəmiyyətlə yanaşı, həm də yüksək praktiki əhəmiyyət kəsb edir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Tədqiqatın məqsədi bitkilərin yüksək duzluluq şəraitinə adaptasiya olunmasında toxumların səpindən əvvəl γ - şüalarla işlənməsinin rolunun aydınlaşdırılması və adaptasiya mexanizmlərinin detallarının araşdırılması olmuşdur. Bu məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı vəzifələr yerinə yetirilmişdir:

- radioaktiv şüalanmanın duz stressi şəraitində yetişən bitkilərin biometrik göstəricilərinə təsirinin tədqiqi;

- radioaktiv şüalanmanın duz stressi şəraitində yetişən bitki hüceyrələrində lipidlərin peroksid oksidləşmə reaksiyalarının gedişinə təsirinin tədqiqi;

- radioaktiv şüalanmanın duz stressi şəraitində yetişən bitkilərin yarpaqlarında fotosintez pigmentlərinin miqdarına təsirinin tədqiqi;

- radioaktiv şüalanmanın duz stressi şəraitində yetişən bitkilərin yarpaqlarında ümumi zülalın miqdarına təsirinin tədqiqi;

⁹Sawant et al. Effect of gamma irradiation on antioxidant potential and bioactives of a cosmeceutically significant *Chlorella emersonii* KJ725233. I. J.of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, - 2019, 11 (8), -p. 85-91.

¹⁰Sharma P. et al. Reactive oxygen species, oxidative damage and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions J.of Bot. 2012.1.p.1- 26.

- radioaktiv şüalanmanın duz stresi şəraitində yetişən bitkilərdə prolin, antosianlar, flavonoidlər və karotinoidlər kimi kiçik molekullu antioksidantlarının miqdarına təsirinin tədqiqi;

- radioaktiv şüalanmanın duz stresi şəraitində yetişən bitkilərdə superoksid dismutaza, katalaza və askorbatperoksidaza kimi antioksidant fermentlərinin fəaliyyətinə təsirinin tədqiqi.

Tədqiqatın elmi yenilikləri. Tədqiqat işində ilk dəfə olaraq:

- radioaktiv şüalanmanın geniş doza oblastında duz stresi şəraitində yetişən noxud (*Cicer arietinum* L.) və qarğıdalı (*Zea mays*) bitkilərinin boyatma və inkişafına, bitki hüceyrələrində lipidlərin peroksid oksidləşmə reaksiyalarının gedişinə, bitki yarpaqlarında fotosintez prosesinin intensivliyinə, bitkilərin keyfiyyət göstəricilərinə və stres şəraitində onların antioksidant müdafiə sisteminin fəaliyyətinə təsiri tədqiq edilmişdir;

- müəyyən edilmişdir ki, ayrılıqda radioaktiv şüalanma böyük dozalarda, duz isə yüksək konsentrasiyalarda tədqiqat bitkilərinin boyatma və inkişafına inhibirləşdirici təsir göstərdiyi halda, müəyyən dozalarda radioaktiv şüalanma hətta yüksək konsentrasiyalarda belə duzun neqativ təsirini zəiflədə bilər;

- aydın olmuşdur ki, toxumların səpindən əvvəl kiçik dozalarda qamma şüalarla işlənməsi prolin və karotinoidlər kimi kiçik molekullu antioksidantların sintezinin stumullaşmasına, antioksidant fermentlərin isə fəallaşmasına səbəb olur ki, bu da bitkilərin duz stresinin zərərli təsirindən mühafizə olunmasında müstəsna əhəmiyyət kəsb edir;

- bitkilərin antioksidant müdafiə sisteminin duz stresi şəraitində fəaliyyətində həm kiçik və böyük molekullu antioksidantlar arasında, həm də antioksidant fermentlərin öz aralarında uzlaşmış fəaliyyət göstərə bilməsinə dair təkzibolunmaz nəticələr əldə edilmişdir.

İşin elmi və praktiki əhəmiyyəti. Alınmış nəticələrdən bitkilərin stres amillərin təsirinə davamlılıq mexanizmlərinin öyrənilməsində məlumat bazası kimi istifadə edilə bilər. Antioksidant fermentlərin aktivliklərinin təyininə dair aldığımız nəticələrdən duz stresi də daxil olmaqla, bitkilərin stres amillərin

təsirinə davamlılıq dərəcəsinin qiymətləndirilməsində istifadə edilə bilər.

Nəticələrdən toxumların səpindən əvvəl qamma şüalarla işlənməsinin duz stresi şəraitində bitkilərin boyatma və inkişafının stimullaşdırılması kimi praktiki işlərdə istifadə edilə bilər. Duz stresi şəraitində antioksidant müdafiə sisteminin fəaliyyətinə dair aldığımız nəticələr isə antioksidantların biosintezi yoluna məqsədyönlü təsir etməklə, müxtəlif stres amillərin təsirinə davamlı bitki genotiplərinin alınması yolunda perspektivlər açır.

Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar:

- toxumların səpindən əvvəl qamma şüalarla işlənməsi duz stresi şəraitində sərbəst radikal oksidləşmə və oksigenin fəal formalarının yaranma intensivliklərini azaldır. Nəticədə ionlaşdırıcı şüalanma duz stresinin neqativ təsirini müəyyən dərəcədə zəiflətməklə NaCl –un hətta yüksək konsentrasiyalarında belə noxud və qarğıdalı bitkilərinin duz stresi şəraitində normal inkişafını təmin edir;

- toxumların kiçik stimullaşdırıcı dozalarda şüalandırılması zəif duz stresi şəraitində yetişən noxud və qarğıdalı bitkilərinin hüceyrə membranlarında lipidlərin peroksid oksidləşməsinin qarşısını müəyyən dərəcədə ala bildiyindən duz stresi membranlarda irimiyaslı zədələnmələr yarada bilmir;

- duz stresi şəraitində oksigenin fəal formalarının miqdarının və antioksidant fermentlərin aktivliklərinin dəyişməsi bitkinin duz stresinə davamlılıq dərəcəsi ilə müəyyən edilir;

- toxumları səpindən əvvəl γ -şüalarla işlənmiş noxud və qarğıdalının duz stresi şəraitində boyatma və inkişafı bu bitkilərin antioksidant müdafiə sisteminin ayrı-ayrı elementlərinin balanslaşmış, əlaqəli və koordinasiya olunmuş fəaliyyəti hesabına mümkün olur;

- şoran torpaqlarda noxud və qarğıdalı yetişdirmək üçün toxumların γ -şüalarla işlənmə texnologiyasından istifadə etmək arzuolunan nəticələrə səbəb ola bilər.

Dissertasiya işinin aprobasiyası. Dissertasiya işinin nəticələri aşağıdakı elmi konfranslarda müzakirə edilmişdir:

1. XXXIII Межд. Конф. «Актуальные проблемы в соврем. науке и пути их решения». Москва, 2016, №2, с.12-15;
2. XVIII Межд. Конф. «Актуальные проблемы науки XXI века», Москва, 2017, с. 5-9;
3. Межд. Конф. «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность». Севастополь, 2017. с.377-380;
4. Межд. Науч. форум «Ядерная наука и технологии», посвя. 60-летию Института Ядерной Физики. Алматы, 2017, с. 289;
5. Межд. Научно-практическая конф. «Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы». 2018, Обнинск, с. 65-68;
6. Seventh Inter Conf. on Radiation in Various Fields of Research (RAD 2019). Herceg Novi, Montenegro, June 10 – 14. 2019, p. 369;
7. Международная конференция «Ядерные и радиационные технологии в медицине, промышленности и сельском хозяйстве». 24 - 27 июня 2019 года Алматы, стр. 227-228;
8. Международная научно - практическая конф. «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019», 23 – 26 сентября 2019 года, г. Севастополь, с. 370-373;
9. VIII съезд по радиационным исследованиям. Москва. 2021, 12-15 октября, с.89.
10. 10th Jubilee In. Conf. on Radiation in Various Fields of Research (RAD 2022). Herceg Novi, Montenegro, July 25 – 29. 2022, p. 100.

İş həmçinin də AMEA Radiasiya Problemləri İnstitutunun elmi seminarlarında müzakirə olunmuşdur.

Nəşrlər. Nəticələrin əsasında 20 elmi əsər (dövri jurnallarda – 10 məqalə, konfrans materiallarında- 5 məqalə, konfrans materiallarında - 5 tezis) çap edilmişdir ki, bunların da ikisi *Web of science*, biri Rusiya AAK –nın, biri isə Ukraina AAK –nın bazasına daxildir.

Dissertasiyanın strukturu və həcmi. 187 səhifəlik dissertasiya işi “Giriş”-dən (10646), 3 fəsildən (129460), “Yekun”-dan (14981) “Nəticələr”-dən (2083), “Ədəbiyyat siyahısı”-dan və “İxtisarlının

siyahısı”-dan ibarət olmaqla, 2 cədvələ, 71 şəkilə (qrafik və diaqramlar da daxil olmaqla) malikdir.

Ədəbiyyat siyahısı 3 azərbaycan, 40 rus və 189 xarici ədəbiyyat olmaqla 232 sayda ədəbiyyatdan ibarətdir ki, bunların da təqribən 50 %-i son illəri əhatə edir.

İŞİN MƏZMUNU

Dissertasiya işinin “**Giriş**” hissəsində problemin aktuallığı, işin məqsəd və vəzifələri, alınan elmi yeniliklər, işin elmi və praktiki əhəmiyyəti, müdafiəyə çıxarılan müddəalar şərh edilmiş və dissertasiya işində alınmış nəticələrin müzakirə edildiyi qurultay konfransların siyahısı verilmişdir. Bu hissədə həm də tədqiqat nəticələrinin çap olunduğu jurnallar haqqında məlumat verilmişdir.

“**ƏDƏBİYYAT İCMALI**” –na həsr olunmuş **I FƏSİL** –də dissertasiya mövzusunə, daha dəqiq desək, duz və radiasiya streslərinin ayrılıqda bitkilərin inkişafında yarada biləcəyi dəyişikliklər haqqında geniş məlumatlar verilmiş, həmçinin də səpindən əvvəl toxumların qamma şüalarla işlənməsinin bitkilərin müxtəlif stres şəraitlərində (o cümlədən də duz stressi şəraitində) inkişafında roluna dair fikirlərin təhlili verilmişdir. Söylənilən fikirlər geniş təhlil edilmiş, qruplaşdırılmış və bu sahədə tədqiqat aparən tədqiqatçıların asan istifadə edə biləcəkləri formada təqdim edilmişdir.

Mövcud məlumatların təhlili əsasında dissertasiya işinin mövzusu və tədqiqatın məqsəd və vəzifələri, həmçinin də əsas istiqamətləri müəyyən edilmişdir.

“**TƏCRÜBİ HİSSƏ**”-yə həsr olunmuş **II FƏSİL**-də tədqiqatın material və metodlarının şərhə verilmişdir.

Tədqiqat obyektləri olaraq, paxlalılar fəsiləsinə (*Fabaceae* L.) aid olan noxud (*Cicer arietinum* L.) və qarğıdalıkimilər fəsiləsinin (*Poaceae*) qarğıdalı (*Zea mays*) bitkiləri seçilmişdir. Noxudun yerli “Uqunənə” və qarğıdalının “Zaqatala 68” sortlarından istifadə edilmişdir.

Tədqiqat metodları kimi spektrofotometriya, sentrifuqasiya, fotokolorimetriya, biometriya, radiometriya metodlarından, **tədqiqat cihazları** kimi isə KФК-2 УХЛ 4.2 markalı kolorimetrində (Rusiya), “JENWEY -67” markalı (United Kingdom) spektrofotometrindən, “HIMAC –CT 15 RE” markalı (United Kingdom) sentrafuqadan, “СДЛ-1” markalı (Rusiya) dielektrik separatorundan, “Фауна - М” markalı (Rusiya) rütubət ölçəndən, Dry Box/Incubator PH-070A markalı termostatdan (China), Electronic Balance ABT markalı elektron tərəzidən (Czech Republic), PHS-25 markalı pH-metrindən (China) və becərmə kamerasından (fitotrondan) istifadə edilmişdir.

Ümumi zülalın miqdarı¹¹ kolorimetrik, fotosintez piqmentlərinin və antosianların miqdarı¹², MDA-nın miqdarı¹³, prolinin miqdarı¹⁴, flavonoidlərin miqdarı¹⁵, SOD-un aktivliyi¹⁶, KAT və APO-nun aktivlikləri¹⁷ isə spektrometrik üsulla müəyyənləşdirilmişdir.

Toxum nümunələri ⁶⁰Co γ -şüalanma mənbəyi olan “RUXUND” markalı (Rusiya) şüalanma qurğusunun köməyi ilə işlənmişdir.

Tədqiqatın nəticələrinin analizi zamanı orta riyazi səhvlər və kənarlanmalar ($M \pm m$) nəzərə alınmış, $P < 0,05$ -nin səviyyəsi dürüstlük göstəricisi kimi qəbul olunmuşdur.

¹¹Sedmak J.J., Grossberg, S.E. A rapid, sensitive, and versatile assay for protein using Coomassie Brilliant Blue G-250. *Analyt. Biochem.* 1977. 79(1-2), p.544-552.

¹²Sims D.A., Gamon J.A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environment*, - 2002. 81, - p. 337-354.

¹³Ohkawa H., Ohishi N., Yagi K. Assay for lipid peroxide in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. *Anal Biochem.* 1979. 95(2), p. 351-358.

¹⁴Bates L. S., Waldren R.P., Teare I.D. Rapid determination of free proline for water – stress studies. *Plant and Soil.* 1973. 39 (1), p. 205-207.

¹⁵Ломбоева и др. Метод количественного определения общего содержания флавоноидов в наземной части *Orthilia Secunda* L. Журнал Химия растительного сырья. 2008. 2, p. 65-68.

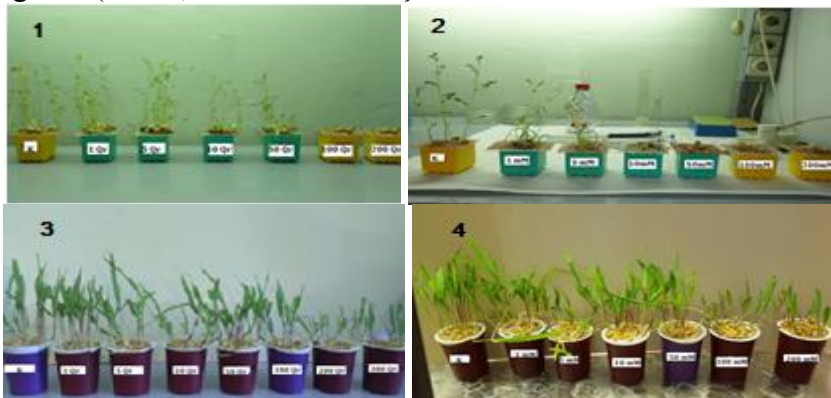
¹⁶Giannopolites C.N., Ries S.K. Superoxide dismutase. I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiol.* 1997, 59 (2), p. 309-315.

¹⁷Rios-Gonzales K. et al. The activity of antioxidant enzymes in maize and sunflower seedlings as affected by salinity and different nitrogen sources. *Plant sci.* 2002.162, p. 923-930.

III FƏSİL. ALINAN NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN İZAHİ

3.1.1. Radioaktiv şüalanma və duz stresinin ayrılıqda bitkilərin inkişafına təsirinin tədqiqi

Şəkil 3.1. radiasiya və duz streslərinin noxud (1 və 2) və qarğıdalı (3 və 4) bitkilərinin inkişafına təsirini əks etdirir.



Şəkil 3.1. Radiasiya (1,3) və duz (2,4) streslərinin bitkilərin inkişafına təsiri

Şəkil 3.1(1)-dən ionlaşdırıcı şüalanmanın (1-5) Qr doza oblastında noxudun inkişafına stimullaşdırıcı təsir göstərməsi, (10 – 50) Qr doza oblastında, əksinə, şüalanma dozasının artması bitkinin boyatma və inkişafını ləngitməsi, 100 Qr –dən yüksək dozalarda isə cücərtilərin inkişafını tamamilə dayandırması görünür.

Qarğıdalı üçün şüalanma dozasından təxminən oxşar formada asılılıq müşahidə edilir. Bu halda da 1 və 5 Qr -ə bərabər şüalanma dozaları bitkinin inkişafına stimullaşdırıcı, 100 Qr və ondan böyük dozalar isə ləngidici təsir göstərir (şəkil 3.1(3)). Fərq ondan ibarətdir ki, inhibirləşdirici doza həddi noxud üçün 10 Qr-dən başladığı halda, qarğıdalı üçün bu hədd 100 Qr-dən başlayır və yüksək dozalarda belə bu bitki, ləng də olsa, inkişaf edə bilər. Bu nəticələr tədqiq etdiyimiz bitkilərin ionlaşdırıcı şüalanmanın təsirinə həssaslığının fərqli olmasını göstərir.

Duz stresinin noxud bitkisinin inkişafına təsirinə dair aldığımız nəticələr hətta ən kiçik (1 mM) konsentrasiyalı NaCl-un belə bu

bitkinin inkişafını əhəmiyyətli ləngitdiyini göstərir. Duzun stresinin şiddətlənməsi bu təsiri daha da gücləndirir və 50 mM-dan yüksək konsentrasiyalarında bitkinin inkişafı tamamilə dayanır (şəkil 3.1(2)). Deməli, duz stresinin noxud bitkisinin inkişafına təsiri radiasiyanın təsiri ilə müqayisədə daha güclüdür.

Duz stresinin qarğıdalının inkişafına təsiri də özünü bitkinin inkişafının ləngiməsində göstərir. Sadəcə olaraq, bu halda ləngimə noxudda olduğu kimi irimiqyaslı olmur və 50 mM-dan yüksək qatılıqda belə bitki, zəif də olsa, inkişaf edə bilir (şəkil 3.1(4)).

Aldığımız nəticələrdən aydın olur ki, qarğıdalı bitkisi ionlaşdırıcı şüalanmanın təsirinə yüksək rezistentlik göstərə bildiyi kimi duz stresinin təsirinə də yüksək davamlılıq göstərə bilir.

Hesab edirik ki, bunun səbəbi qarğıdalının daxili antioksidant müdafiə potensialından istifadə qabiliyyətinin yüksək olmasıdır.

3.1.2. Radioaktiv şüalanma və duz stresinin birlikdə bitkilərin inkişafına təsirinin tədqiqi

Bu tədqiqatın aparılmasında məqsəd toxumların səpindən əvvəl γ -şüalarla işlənməsinin onların duz stresi şəraitində inkişafına təsirini araşdırmaq olmuşdur. Bu məqsədlə 1, 5, 10, 50, 100 və 200 Qr dozalarda şüalandırılmış noxud toxumları 1, 5, 10, 50 və 100 mM konsentrasiyalı NaCl məhlulunda yetişdirilmişdir.

Nəticələr şəkil 3.2-də öz əksini tapmışdır.

Aldığımız bu nəticələr kifayət qədər maraq kəsb edir. Belə ki, gördüyümüz kimi, ayrılıqda γ -şüalanma yüksək dozalarda, NaCl isə yüksək konsentrasiyalarda noxudun inkişafına inhibirləşdirici təsir göstərdiyi halda, toxumların γ -şüalarla işlənməsi hətta yüksək duz konsentrasiyalarında belə bu bitkinin normal inkişafını təmin edir.

Deməli, ionlaşdırıcı şüalanma duz stresinin neqativ təsirini müəyyən dərəcədə zəiflədə bilir.

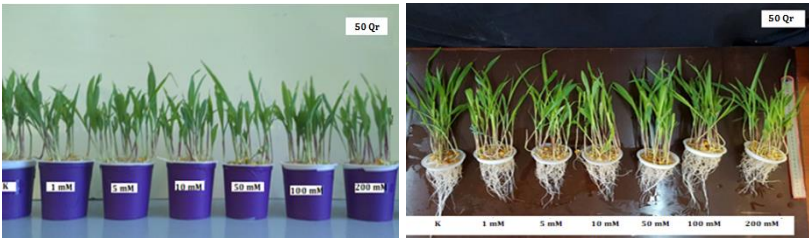
Oxşar formada təsirin duzadavamlılığı ilə fərqlənən qarğıdalı bitkisi üçün də doğru olub-olmadığını yoxlamaq, bu sahədə müəyyən qanunauyğunluğun müəyyənləşdirilməsi, ümumiləşmiş fikrin söylənilməsi üçün 50 Qr dozada toxumları şüalandırılmış qarğıdalının müxtəlif konsentrasiyalı NaCl məhlulunda boyatma və

inkışafını öyrənməyi məqsədəmüvafiq hesab etmişik. Şüalanma dozasının 50 Qr -ə bərabər seçilməsinin səbəbi bu dozanın qarğıdalı üçün stimullaşdırıcı doza oblastına düşməsidir.



Şəkil 3.2. Radiasiya və duz streslərinin birlikdə noxudun inkışafına təsiri

Şəkil 3.3-də toxumları 50 Qr dozada şüalandırılmış və müxtəlif konsentrasiyalı duz məhlulunda yetişdirilmiş qarğıdalı cücərtilərinin və onların köklərinin görünüşü verilmişdir.



Şəkil 3.3. Radiasiya və duz streslərinin birlikdə qarğıdalının inkışafına təsiri

Radioaktiv şüalanmanın ayrılıqda yüksək (200 – 300) Qr dozalarda, duzun isə ayrılıqda böyük (100–200) mM qatılığında qarğıdalının inkişafını ləngitməsini müəyyənləşdirmişdik. İkili stres şəraitində isə fərqli mənzərənin şahidi oluruq. Şəkildən isə aydın olur ki, bu bitkinin toxumlarının 50 Qr dozada şüalandırılması hətta yüksək duz qatılıqlarında belə onun inkişafını stimullaşdırır.

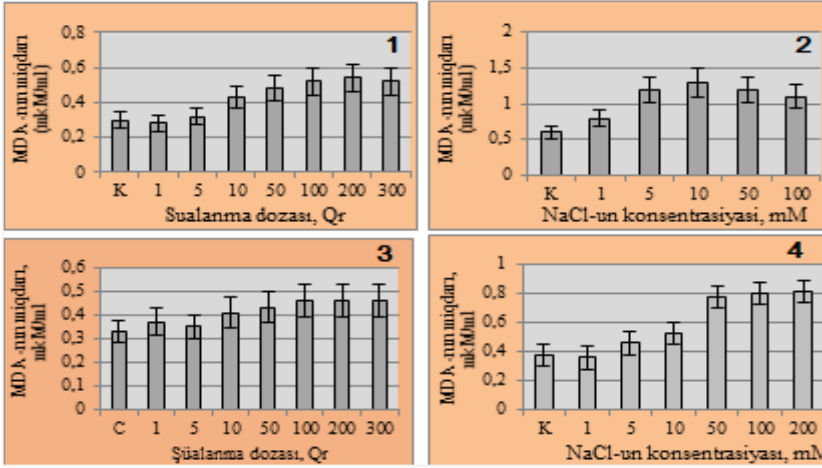
3.2.1. Radioaktiv şüalanma və duz stresinin ayrılıqda və birlikdə bitki hüceyrələrində lipidlərin peroksid oksidləşmə reaksiyalarının gedişinə təsirinin tədqiqi

Stres şəraitlərdə yaranan sərbəst radikallar hüceyrə membranlarında lipidlərin peroksid oksidləşməsi reaksiyalarına səbəb olur ki, bu da sonda membranların zədələnməsini (bəzən də dağılması) ilə nəticələnir¹⁸. Lipidlərin peroksid oksidləşmə reaksiyası son nəticədə hüceyrədə malon dialdehid (MDA) adlanan maddənin toplanmasına səbəb olur ki, bu maddənin miqdarına əsasən də lipidlərin peroksidləşmə səviyyəsi, daha dəqiq desək, membranların zədələnmə dərəcəsi haqqında fikir söyləmək olur¹⁹.

Radiasiya və duz streslərinin noxud (1 və 2) və qarğıdalı (3 və 4) yarpaqlarında MDA-nın miqdarına təsirinə dair nəticələr şəkil 3.4-də öz əksini tapmışdır. Nəticələrdən aydın ki, noxud toxumlarının 1 Qr-dən 5 Qr-ə qədər dozalarda şüalandırılması membran lipidlərinin oksidləşməsini yarada bilmir və nəticədə intensiv MDA yaranması baş vermir. Böyük dozalarda isə membran lipidləri sərbəst radikalların hədəfinə çevrilirlər ki, bu da böyük miqdarda MDA –nın yaranmasına səbəb olur (şəkil 3.4(1)). Toxumları γ -şüalarla işlənməmiş və müxtəlif qatılıqlı NaCl məhlulunda yetişdirilən noxud yarpaqlarında MDA-nın miqdarının duz qatılığından asılılığından (şəkil 3.4(2)) aydın olur ki, ən kiçik (1mM) duz qatılığında belə MDA-nın miqdarında sıçrayışla artma baş verir.

¹⁸Khan M.H., Panda S.K. Alterations in root lipid peroxidation and antioxidative responses in two rice cultivars under NaCl-salinity stress. *Acta Physiol Plant.* 2008, 30, p. 91-89.

¹⁹Miller R., et al. Reaktive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses. *Plant Cell Environ.* 2010, v.33, p. 453-467.



Şəkil 3.4. Radiasiya (1,3) və duz (2,4) streslərinin bitki membranlarında yaratdığı MDA-nın miqdarının şüalanma dozasından və duz qatılığından asılılığı

Bu cür artma 10 mM konsentrasiyaya qədər davam edir. Hesab edirik ki, duz stresinin 10 mM-a qədər artması hüceyrə membranlarında böyük sürətlə lipidlərin peroksid oksidləşmə reaksiyalarını yaradır və nəticədə hüceyrə membranlarında irimiqyaslı zədələnmələr baş verir və MDA-nın miqdarı sürətlə artır.

Yüksək duz konsentrasiyalarında isə MDA-nın miqdarının, əksinə, azalmasının səbəbi, çox yəqin ki, MDA molekullarının özlərinin duzun təsiri ilə dağılmasıdır. Yada salaq ki, yüksək duz konsentrasiyaları bitkinin inkişafını da ləngidirdi.

Toxumları γ -şüalarla işlənmiş və normal şəraitdə yetişən qarğıdalı hüceyrələrində MDA –nın miqdarının şüalanma dozasından asılılığından (şəkil 3.4(3)) aydın görünür ki, toxumların 1 Qr-dən 5 Qr-ə qədər γ -şüalarla işlənməsi, təcrübənin xətası daxilində olan kənarçıxmaları nəzərə almasaq, lipidlərin peroksid oksidləşmə reaksiyalarının məhsulunun miqdarına əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərə bilmir. Şüalanma dozasının sonrakı artımı isə MDA –nın miqdarının (5 – 100) Qr doza oblastında artmasını, (100 – 300) Qr doza oblastında isə sabit qalmasını göstərir.

Toxumları γ -şüalarla işlənməmiş və duz mühitində yetişdirilən qarğıdalı hüceyrələrində MDA-nın miqdarının NaCl-un qatılığından

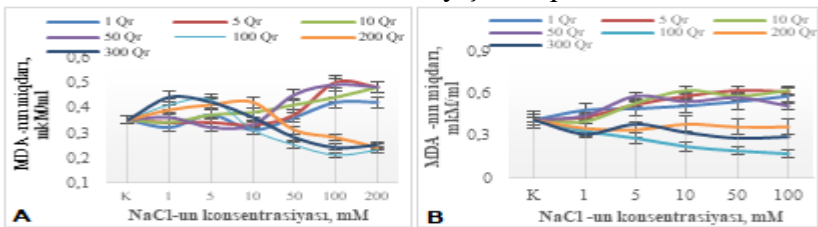
asililiğine dair nəticələr (şəkil 3.4(4)) duz stresinin güclənməsi ilə MDA-nın miqdarının da artmasını göstərir. Əlavə olaraq, MDA-nın miqdarının artması hətta kiçik duz konsentrasiyalarında (5 mM) belə müşahidə olunur və duz stressi radiasiya stressi ilə müqayisədə onun miqdarında daha irimiqyaslı dəyişmələr yaradır.

3.2.2. Radioaktiv şüalanma və duz stresinin birlikdə MDA-nın miqdarına təsirinin tədqiqi

Şüalanmış toxumlardan duz məhlulu şəraitində yetişən qarğıdalı və noxud yarpaqlarında MDA-nın miqdarının NaCl -un qatılığında asılılığına dair aldığımız nəticələr şəkil 3.5-də təqdim edilmişdir.

Nəticələr qarğıdalı toxumlarının 1, 5, 10 və 50 Qr dozalarda şüalanmasının 1–10 mM duz qatılığı intervalında MDA-nın miqdarında əhəmiyyətli dəyişmələr yaratmadığını, 10-100 mM intervalda isə onun miqdarında nəzəçarpacaq artım yaratdığını göstərir. Yüksək şüalanma dozaları (100-300 Qr) halında MDA-nın miqdarında aşağı duz qatılığında zəif artma, yuxarı duz qatılığında isə irimiqyaslı azalma tendensiyası müşahidə edilir (şəkil 3.5(A)).

Şüalanmış noxud toxumları halında aldığımız nəticələr bir qədər fərqlənir (şəkil 3.5(B)). Belə ki, 1-50 Qr -ə bərabər kiçik doza oblastında şüalanmış toxumlardan yetişən noxud yarpaqlarında MDA -nın miqdarı duz konsentrasiyasının 1 mM -dan 50 mM -a qədər artması ilə tədricən artır, sonra isə dəyişməz qalır.



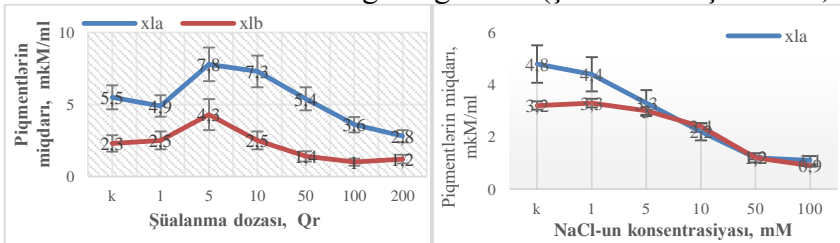
Şəkil 3.5. Şüalanmış toxumlardan duz məhlulu şəraitində yetişən qarğıdalı (A) və noxud (B) yarpaqlarında MDA-nın miqdarının duz qatılığında asılılığı

Yüksək şüalanma dozalarında (100 – 300 Qr doza oblastında) isə duz stresinin güclənməsi MDA –nın miqdarını, demək olar ki, dəyişdirmir. Bəzi halda isə, az da olsa, bu maddənin miqdarının cüzi

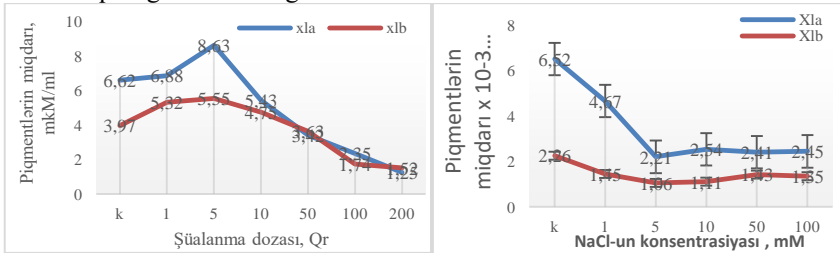
azalmasına səbəb olur. Nəticələrdən aydın olur ki, toxumların γ -şüalarla işlənməsi aşağı duz konsentrasiyalarında yaranan MDA –nın miqdarını müəyyən qədər azalda bilər. Başqa sözlə desək, γ -şüalarla işlənmə zəif duz stresinin təsirini müəyyən qədər zəiflədə bilər.

3.3. Radioaktiv şüalanma və duz stresinin ayrılıqda və birlikdə bitkilərin yarpaqlarında fotosintez piqmentlərinin miqdarına təsirinin tədqiqi

Bitkilərin boyatma və inkişafının fotosintez prosesi ilə üzvi sürətdə bağlı olmasını nəzərə alaraq, bəzi şüalanma dozalarında müşahidə etdiyimiz stimullaşma prosesinin fotosintez piqmentlərinin sintezi ilə əlaqəsinə aydınlıq gətirmişik. Aldığımız nəticələr hər iki bitkidə xlorofil sintezinin həm radioaktiv şüalanmanın, həm də duz stresinin təsirinə həssas olduğunu göstərir (şəkil 3.6 və şəkil 3.7.) .



Şəkil 3.6. Noxud yarpaqlarında xlorofillərin miqdarının şüalanma dozalarından və duz konsentrasiyasından asılılığı



Şəkil 3.7. Qarğıdalı yarpaqlarında xlorofillərin miqdarının şüalanma dozalarından və duz konsentrasiyasından asılılığı

Nəticələr həm şüalanma dozasının, həm də duz stresinin hər iki bitkidə xlorofil sintezinə oxşar formada təsir etməsini göstərir. Daha dəqiq desək, şüalanmanın (1-10) Qr doza oblastında xlorofil

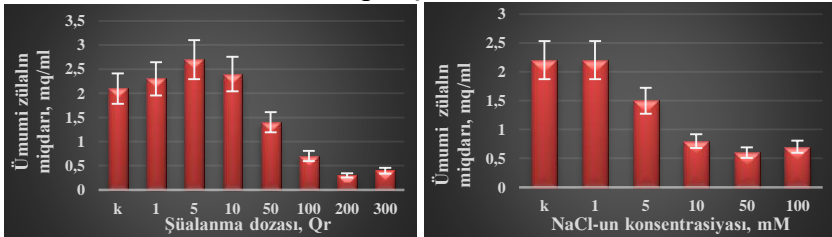
sintezinə stimullaşdırıcı, duzun isə bütün qatılıqlarda inhibirləşdirici təsir etməsini göstərir. Qeyd edək ki, aldığımız bu nəticələr hər iki stres amilinin bitkilərin inkişafına təsiri ilə uyğunluq təşkil edir.

Maraqlıdır ki, həm xlorofil *a*, həm də xlorofil *b* şüalanma dozasından və duzun qatılığından asılı oxşar dəyişmə dinamikası nümayiş etdirir.

İkili stres şəraitində fərqli nəticələr alınır. Toxumları nisbətən böyük dozalarda şüalanmaya məruz qalmış noxud cücərtiləri hətta yüksək konsentrasiyalı duz məhlulunda belə xlorofil sintez edə bildiyi halda, qarğıdalı üçün isə belə şəraitlərdə xlorofil sintezi, demək olar ki, tamamilə dayanır.

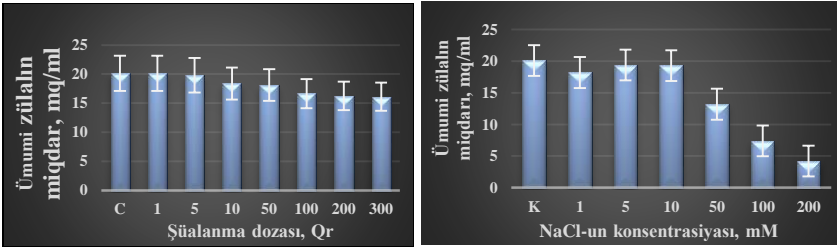
3.4. Radioaktiv şüalanma və duz stresinin ayrılıqda və birlikdə bitkilərin yarpaqlarında ümumi zülalın miqdarına təsirinə tədqiqi

Bitki yarpaqlarında ümumi zülalın miqdarının şüalanma dozasından və duzun qatılığından asılılığına dair aldığımız nəticələr şəkil 3.8 və 3.9-da öz əksini tapmışdır.



Şəkil 3.8. Noxud yarpaqlarında zülalın miqdarının şüalanma dozasından və duzun qatılığından asılılığı

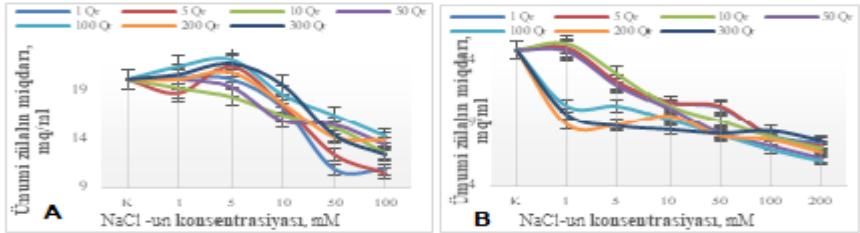
Nəticələr aşağı şüalanma dozalarının (1–10 Qr) noxudda zülal sintezini sürətləndirməsini, yüksək şüalanma dozalarının (100 – 300 Qr) isə, əksinə, bu prosesi ləngitməsini göstərir. (1–10) Qr dozalarında şüalanmanın bu bitkinin inkişafına və xlorofil sintezinə də stimullaşdırıcı təsir göstərməsi faktını yada salsaq, hesab etmək olar ki, inkişafın stimullaşması həm də zülal sintezinin stimullaşmasına səbəb olur. Bu faktlar 1-10 Qr doza oblastının noxud bitkisi üçün stimullaşdırıcı doza oblastı olması fikrini söyləməyə əsas verir.



Şəkil 3.9. Qarğıdalı yarpaqlarında zülalın miqdarının şüalanma dozasından və duzun qatılığından asılılığı

Qarğıdalıda ionlaşdırıcı şüalanmanın zülal sintezini stimullaşdırma bilməməsi, duz stresinin isə hər iki bitkidə zülal sintezini inhibirləşdirməsi və aşağı duz qatılıqlarında qarğıdalının zülal sintezinə qarşı yüksək rezistentlik göstərə bilməsi faktları işin maraqlı nəticələrindəndir.

İkili stres şəraitində zülalın miqdarına dair aldığımız nəticələr ayrılıqda duz və radiasiya streslərinə dair aldığımız nəticələrdən fərqlənir (şəkil 3.10).



Şəkil 3.10. Şüalanmış toxumlardan duz məhlulu şəraitində yetişən noxud (A) və qarğıdalı (B) yarpaqlarında zülalın miqdarının duz qatılığından asılılığı

Nəticələr “noxud toxumlarının γ -şüalarla işlənməsinin zəif duz stresi şəraitində ümumi zülalın miqdarına münasibətdə bitkinin duz stresinə tolerantlığını artırır, güclü duz stresinin isə zülalın miqdarının azalmasına səbəb olur” fikrini söyləməyə əsas verir.

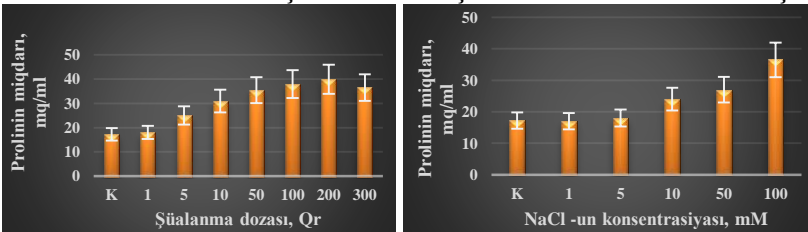
Qarğıdalı üçün fərqli nəticələr alınır. Belə ki, ayrılıqda yüksək şüalanma dozalarının və yüksək qatılıqlı duz stresinin təsiri ümumi zülalın miqdarının azalmasına səbəb olursa, ikili stres halında da belə şəraitlərdə zülalın miqdarında azalma tendensiyası yenə saxlanılır.

Sadəcə olaraq, kiçik şüalanma dozalarında o, irimiqyaslı, böyük şüalanma dozalarında isə nisbətən kiçik miqyaslı olur.

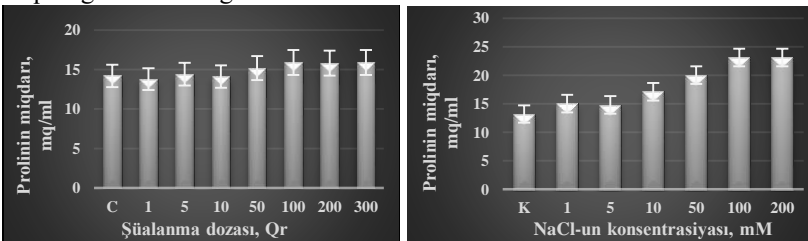
3.5. Radioaktiv şüalanma və duz stresinin ayrılıqda və birlikdə bitkilərin antioksidant müdafiə sisteminin (AOMS) fəaliyyətinə təsirinin tədqiqi

Kiçik molekullu antioksidantlar. Dissertasiya işinin bu hissəsi noxud və qarğıdalı bitkilərində prolin, karotinoidlər, flavonoidlər və antosianlar kimi kiçikmolekullu antioksidantların miqdar dəyişmələri əsasında AOMS-in radiasiya və duz stressi şəraitində (ayrılıqda və birlikdə) fəaliyyəti öyrənilmişdir.

Prolinə dair nəticələr şəkil 3.11 və şəkil 3.12-də əks olunmuşdur.



Şəkil 3.11. Noxud yarpaqlarında prolinin miqdarının şüalanma dozasından və duzun qatılığından asılılığı



Şəkil 3.12. Qarğıdalı yarpaqlarında prolinin miqdarının şüalanma dozasından və duzun qatılığından asılılığı

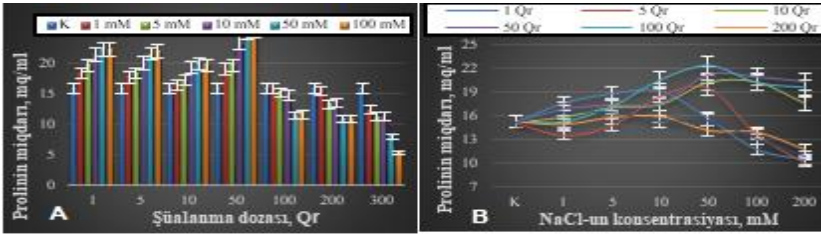
Nəticələr toxumların 1Qr dozada γ -şüalanmasının noxud yarpaqlarında prolinin miqdarına təsir etmədiyini, şüalanma dozasının 5 Qr-dən 200 Qr-ə qədər artması isə bu antioksidantın miqdarının əhəmiyyətli artmasını göstərir (200 Qr dozada prolinin miqdarı kontrollu müqayisədə ~ 2 dəfə yüksək olur. Duz stressi də

prolinin miqdarını kiçik qatılıqlarda dəyişdirmir, böyük qatılıqlarda isə əhəmiyyətli dərəcədə artırır.

Qarğıdalı üçün də oxşar mənzərə müşahidə edilir. Fərq ondan ibarət olur ki, miqdar dəyişmələri nisbətən kiçik miqyaslı olur.

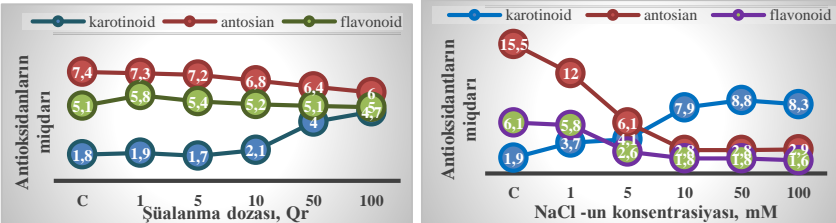
Prolinin miqdarının artmasının səbəbi, hesab edirik ki, onun stres şəraitlərdə mühafizə funksiyasının artması ilə əlaqədardır.

İkili stres şəraitində prolinin miqdarına dair aldığımız nəticələr ayrılıqda duz və radiasiya streslərinə dair aldığımız nəticələrdən fərqlənir. Belə ki, toxumların kiçik dozalarda γ -şüalarla işlənməsi prolin sintezini stimullaşdırmaqla, bu bitkinin duz stresinə tolerantlığını artırır, yüksək dozalarında isə ionlaşdırıcı şüalanma duz stressi ilə birlikdə prolinin deqradasiyasına səbəb olur (şəkil 3.13).



Şəkil 3.13. Şüalanmış toxumlardan duz məhlulu şəraitində yetişən noxud (A) və qarğıdalı (B) yarpaqlarında zülalın miqdarının duz qatılığından asılılığı

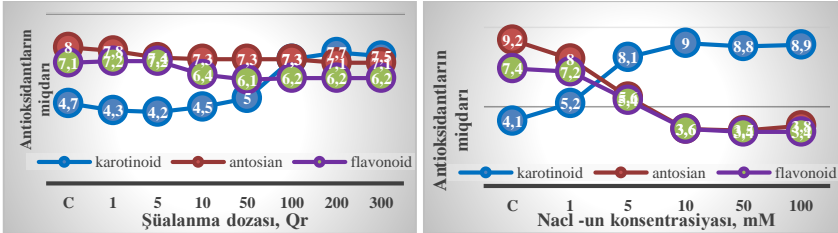
Toxumları müxtəlif dozalarda γ -şüalarla işlənmiş bitkilərin cücərtilərində karotinoid, flavonoid və antosiyanların miqdarına dair aldığımız nəticələr şəkil 3.14 və şəkil 3.15-də öz əksini tapmışlar.



Şəkil 3.14. Noxud yarpaqlarında kiçik molekullu antioksidantların miqdarının şüalanma dozasından və duzun qatılığından asılılığı

Təqdim olunan nəticələrdən aydın olur ki, radiasiya və duz kimi stres amillərinin kiçik molekullu antioksidantların miqdarına

təsirində müəyyən oxşarlıq mövcuddur. Daha dəqiq desək, həm radiasiya stresi, həm də duz stresi antosianların, flavonoidlərin və karotinoidlərin miqdarına təxminən oxşar formada təsir göstərir. Hər iki stresin təsiri şəraitində antosianların və flavonoidlərin miqdarında azalma, karotinoidlərin miqdarında isə artma tendensiyası müşahidə edilir. Fərq, radiasiya stresi şəraitində antosian və flavonoidlərin miqdarında baş verən azalmanın kiçik miqyaslı, duz stresi şəraitində isə irimiqyaslı olmasındadır.



Şəkil 3.15. Qarğıdalı yarpaqlarında kiçik molekullu antioksidantların miqdarının şüalanma dozasından və duzun qatılığından asılılığı

Bu nəticələrə əsaslanmaqla, stres şəraitlərində kiçik molekullu antioksidantların, müəyyən mənada, əlaqəli, uzlaşmış fəaliyyət göstərə bilməsinə dair fikir söyləmək mümkündür.

Böyük molekullu antioksidantlar (antioksidant fermentlər).

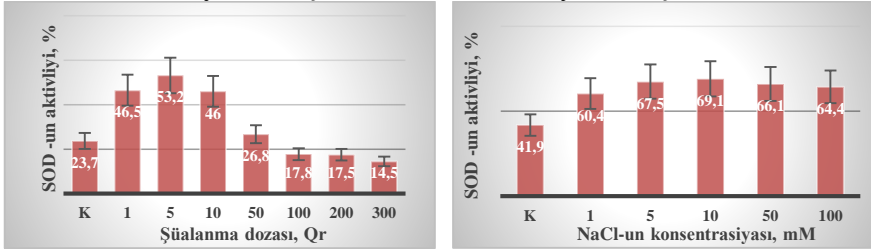
AOMS-nin fəaliyyətini müdafiənin ön cəbhəsini təşkil edən²⁰ superoksiddismutaza (SOD), katalaza (KAT) və askorbatperoksidaza (APO) kimi antioksidant fermentlərin aktivliklərinin dəyişməsinə əsasən qiymətləndirmişik.

Radiasiya və duz streslərində SOD-un fəaliyyətinə dair nəticələr şəkil 3.16 (noxud) və şəkil 3.17-də (qarğıdalı) verilmişdir.

Aydın olur ki, (1 – 10) Qr doza oblastında toxumların şüalanması noxud bitkisində SOD-un aktivliyinin artması və yaxud da sintezinin sürətlənməsi üçün stimulyator rolunu oynayır. 10 Qr - dən yüksək qiymətlərində isə fermentin antioksidant aktivliyi azalaraq, bitkinin kontrol nümunəsindəki qədər olur.

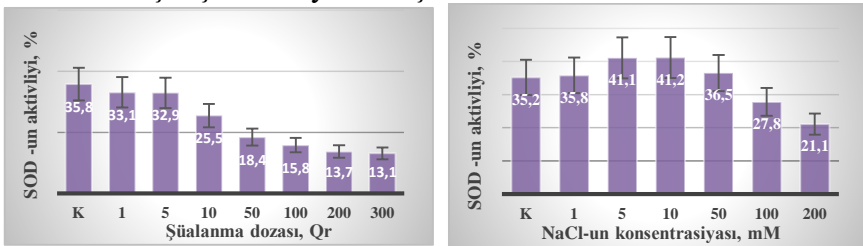
²⁰Aly A.A., El-Beltagi H.E.S. Influence of ionizing irradiation on the antioxidant enzymes of *Vicia faba* L. Grasas Y Aceites. 2010. 61(3), p. 288-294.

SOD-un aktivliyinin duz konsentrasiyasından asılılığı şüalanma dozasından asılılığından fərqlənir. Duz stresi şəraitində yetişən cücərti yarpaqlarında aşağı duz konsentrasiyasında SOD-un aktivliyi nəzərəcarpacaq dərəcədə artır, 10 mM-dan yüksək qatılıqlarda isə bu fermentin aktivliyində kiçik azalma tendensiyası müşahidə edilir.



Şəkil 3.16. Noxud yarpaqlarında SOD-un aktivliyinin şüalanma dozasından və duzun qatılığından asılılığı

Hər iki stres halına uyğun nəticələri ümumiləşdirməklə hesab etmək olar ki, noxud üçün SOD-un aktivliyi stres amilin xarakterindən asılı olur. Ona görə də SOD-un aktivliyi baxımından radiasiya və duz amillərinin stres şəraitlərdə təsir mexanizmlərinə dair ümumiləşmiş fikir söyləmək çətindir.



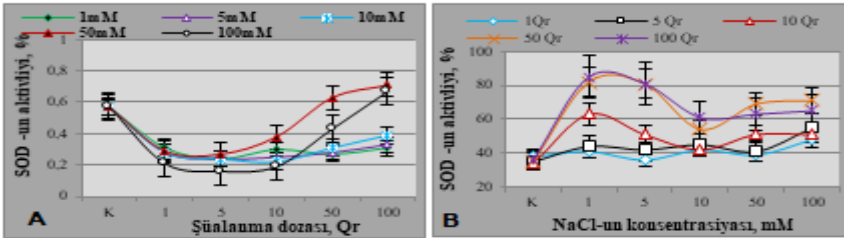
Şəkil 3.17. Qarğıdalı yarpaqlarında SOD-un aktivliyinin şüalanma dozasından və duzun qatılığından asılılığı

Təqdim olunan nəticələrdən aydın olur ki, SOD-un şüalanma dozasından asılılığı qarğıdalıda noxuddan fərqlənir. Bu halda şüalanma dozasının artması bütün doza oblastında SOD-un aktivliyinin azalması ilə müşayiət olunur. Bu azalma aşağı və yüksək dozalarda kiçikmiqyaslı, orta dozalarda isə nisbətən irimiqyaslı olur.

Duz stresi şəraitində isə bu ferment hər iki bitkidə oxşar formada

fəaliyyət göstərir.

İkili stres şəraitində SOD-un aktivliyinin şüalanma dozasından və duz qatılığından asılılığına dair nəticələr şəkil 3.18-də təqdim edilmişdir.



Şəkil 3.18. Şüalanmış toxumlardan duz məhlulu şəraitində yetişən noxud (A) və qarğıdalı (B) yarpaqlarında SOD-un aktivliyinin duz qatılığından asılılığı

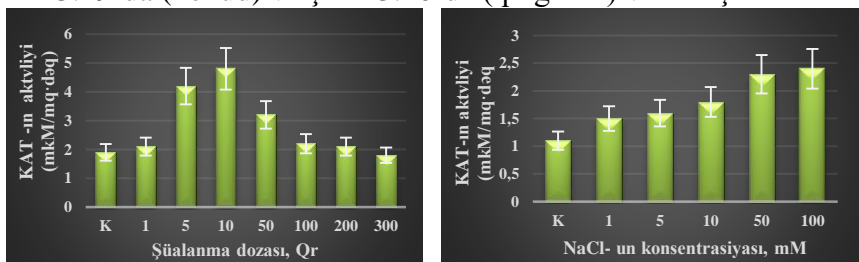
Göründüyü kimi, istifadə etdiyimiz bütün duz qatılıqlarında şüalanma dozasının 5 Qr-ə qədər artması antioksidant SOD-un aktivliyinin noxud bitkisinde azalmasına, 5 Qr-dən 100 Qr-ə qədər artması isə, əksinə, artmasına səbəb olur. Bu halda da artma bütün duz qatılıqlarında müşahidə edilir. Sadəcə olaraq, bu dozalarda yüksək duzluluqda (50 və 100 mM) ferment aktivliyində böyük miqyaslı artım, aşağı duzluluqda isə kiçik miqyaslı artım müşahidə edilir. Başqa sözlə, toxumların 5 - 100 Qr dozalarında şüalanması halında SOD 1, 5 və 10 mM konsentrasiyalı duz məhlulu şəraitində kiçik, 50 və 100 mM konsentrasiyalı duz məhlulu şəraitində isə yüksək aktivlik nümayiş etdirir.

Qarğıdalıda SOD-un aktivliyinin NaCl-un qatılığından asılılığına dair aldığımız nəticələrdən aydın olur ki, aşağı duz konsentrasiyalarında (1 – 10 mM) toxumların şüalanma dozasının artması bu fermentin aktivliyinin artmasına səbəb olur və yüksək şüalanma dozalarında ferment aktivliyinin artması daha irimiqyaslı olur. 5 mM-dan yüksək duz qatılıqlarında isə duz stresinin güclənməsi bütün şüalanma dozalarında SOD-un aktivliyinin azalması ilə müşayiət olunur. Bu halda SOD fermenti yüksək şüalanma dozalarında yüksək, kiçik şüalanma dozalarında isə nisbətən kiçik aktivliklə xarakterizə olunur.

Nəticələrə əsaslanaraq, hesab edirik ki, aşağı duz qatılıqlarında

superoksid radikalların intensiv yaranması baş vermir və bu səbəbdən də SOD-un fəaliyyətinə zərurət yaranmır. Duz stresinin güclənməsi superoksid radikalların yaranmasını intensivləşdirir və onların dismutasiyasına zərurət yaranır. Nəticədə SOD aktivləşir və beləliklə də duzun neqativ təsiri müəyyən qədər zəifləyir.

Radiasiya və duz streslərində KAT-ın aktivliyinə dair nəticələr şəkil 3.19-da (noxud) və şəkil 3.20-də (qarğıdalı) verilmişdir.



Şəkil 3.19. Noxud yarpaqlarında KAT-ın aktivliyinin şüalanma dozasından və duzun qatılığından asılılığı

Şəkil 3.19 -da təqdim olunan nəticələrdən aydın olur ki, aşağı doza oblastında şüalanma dozasının artması, KAT-ın aktivlikliyinin kontrollu müqayisədə kəskin artmasına səbəb olur (məs., 10 Qr dozada şüalanma halında fermentin aktivliyi ~2,5 dəfə yüksək olur).

SOD fermenti də şüalanma dozasından asılı oxşar dəyişmə dinamikası nümayiş etdirirdi. Bu iki fermentin şüalanma dozasından asılı oxşar aktivlik nümayiş etdirməsi xüsusi maraq kəsb edir. Belə ki, SOD-un stres şəraitlərdə yaranan superoksid anion radikalları dismutasiya etməsi və bu reaksiya nəticəsində H_2O_2 -nin yaranması məlumdur²¹. Həm də məlumdur ki, KAT-ın fəaliyyətinin əsasında H_2O_2 -nin zərərsizləşdirilməsi dayanır²².

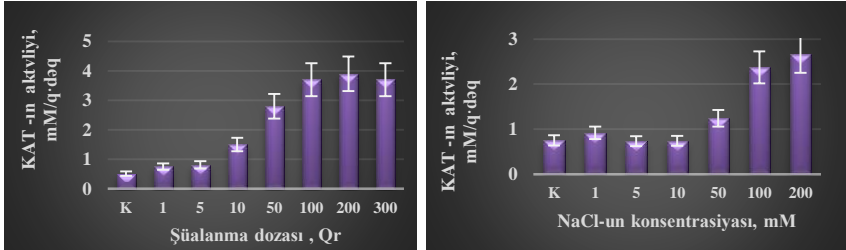
Belə olan halda SOD və KAT fermentlərinin aktivliklərinin müəyyən doza oblastında artmasına dair aldığımız nəticələr başadüşüləndir. Deməli, stres zamanı yaranan superoksid radikalların

²¹Бараненко В.В., Супероксиддисмутаза в клетках растений. Цитология. 2006. 48 (6), с. 465-474.

²²Гарифзянов А.Р. Жуков Н.Н., Иванищев В.В. Образование и физиологические реакции активных форм кислорода в клетках. Журнал «Современные проблемы науки и образования». 2011. №2, с.1-21.

dismutasiya olunması üçün SOD-a, SOD-un fəaliyyəti nəticəsində yaranan hidrogen peroksidlərin zərərsizləşdirilməsi üçün isə KAT-a tələbat yaranmalıdır, yəni hər iki ferment yüksək aktivlik nümayiş etdirməlidir.

Qarğıdalıda, noxuddan fərqli olaraq, şüalanma dozasının artması geniş doza oblastında KAT-ın aktivliyini artırır. Bu halda ferment aktivliyinin artması aşağı dozalarda kiçik, nisbətən yüksək dozalarda irimiqyaslı, çox yüksək dozalarda isə, dəyişməz qalır (şəkil 3.20).



Şəkil 3.20. Qarğıdalı yarpaqlarında KAT-ın aktivliyinin şüalanma dozasından və duzun qatılığından asılılığı

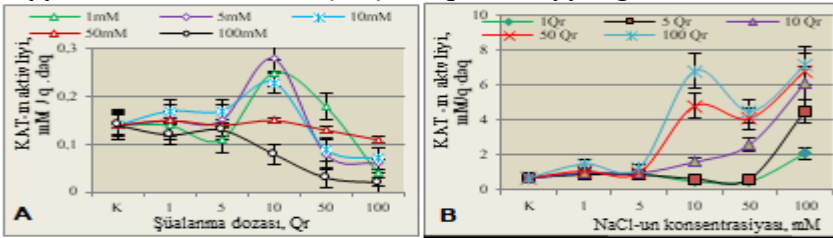
Qarğıdalıda yüksək dozalarda SOD-un aktivliyinin azalması fonunda KAT-ın aktivliyinin artmasına əsaslanaraq, hesab etmək olar ki, yüksək dozalarda superoksid radikallar yaranmır. Bu səbəbdən də onların dismutasiyasını həyata keçirən SOD-a da tələbat yaranmır.

Yüksək dozalarda KAT-ın fəallaşmasına səbəb isə belə şəraitdə H_2O_2 -nin dismutasiya reaksiyasının məhsulu kimi deyil, oksigenin sərbəst fəal forması kimi yaranmasıdır ki, bunların da detoksikasiyası üçün KAT-a tələbat yaranmalı və onun aktivliyi artmalıdır.

Duz və radiasiyanın birgə təsiri şəraitində yetişən noxudda KAT-ın aktivliyinin dəyişməsinə dair aldığımız nəticələr (şəkil 3.21) bu asılılıqlarda müəyyən qanunauyğunluğun olmamasını göstərir.

KAT-ın aktivliyinin bütün duz qatılıqlarında (1-5)Qr doza oblastında dəyişməməsi, (5-10) Qr doza oblastında 1, 5, 10 mM qatılıqlarda artması, 100 mM qatılıqda isə azalması, 10 Qr-dən yüksək dozalarda isə bütün qatılıqlarda tədricən azalması faktlarına, həmçinin də həmin şəraitlərdə SOD-un aktivliyinin dəyişməsinə dair aldığımız nəticələrə əsaslanaraq hesab etmək olar ki, müəyyən şəraitlərdə KAT-ın aktivliyinin azalması SOD-un aktivliyinin artması fonunda

baş verir. Deməli, müəyyən şəraitlərdə SOD və KAT-ın bir-birini əvəz etməsi baş verir, yəni SOD kiçik aktivliyə malik olan halda KAT-a tələbat yaranır və tərsinə. Hesab etmək olar ki, SOD və KAT müəyyən mərhələlərdə uzlaşmış, əlaqəli fəaliyyət göstərir.



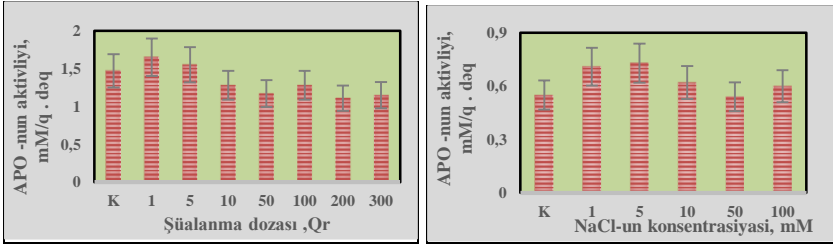
Şəkil 3.21. Şüalanmış toxumlardan duz məhlulu şəraitində yetişən noxud (A) və qarğıdalı (B) yarpaqlarında KAT-ın aktivliyinin duz qatılığından asılılığı

Radiasiya və duz streslərində APO-nun fəaliyyətinə dair aldığımız nəticələr noxud və qarğıdalı üçün, uyğun olaraq, şəkil 3.22 və şəkil 3.23-də verilmişdir. Nəticələr hər iki bitkidə bu fermentin aktivliyinin şüalanma dozasından asılılığının irimiqyaslı olmadığını göstərir. Noxud üçün APO-nun aktivliyində aşağı şüalanma dozalarında cüzi artma, yuxarı şüalanma dozalarında isə cüzi azalma dinamikası mövcuddur (şəkil 3.22). Yada salaq ki, kiçik dozalarda katalaza aktivlik nümayiş etdirmirdi.

Qeyd edək ki, bu nəticələr radiasiyanın ümumi təsir mexanizmi prinsipinə tamamilə uyğun gəlir. Belə ki, kiçik şüalanma dozasında az sayda H_2O_2 yaranmalıdır və onun zərərsizləşdirilməsi üçün isə katalazaya ehtiyac qalmayacaq. Az sayda yaranan H_2O_2 -nin zərərsizləşdirilməsi üçün isə APO-ya tələbat yaranacaq və bu fermentin aktivliyi artacaq. 1 Qr-dən yüksək dozalarda isə KAT-ın aktivliyinin artması fonunda APO-nun aktivliyinin azalması da tamamilə başadüşüləndir. Aydındır ki, nisbətən yüksək dozalarda yaranan H_2O_2 -nin miqdarı da çox olacaq. Belə olan halda KAT-ın fəallaşmasına zərurət yarandığından onun aktivliyi artacaq və APO-nun fəaliyyətinə ehtiyac qalmayacaq.

Noxudda APO-nun aktivliyinin NaCl-un konsentrasiyasından asılılığında ümumi dəyişmə dinamikası (şəkil 3.22) belədir: duz qatılığının 5 mM-a qədər artması APO –nun aktivliyinin artmasına, 5

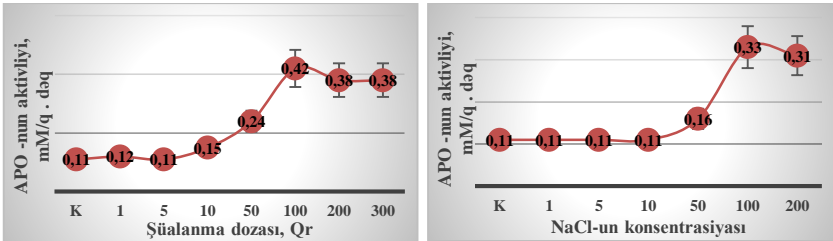
mM-dan 50 mM-a qədər artması bu fermentin aktivliyinin azalmasına, duzun qatılığının 50 mM-dan böyük qiymətlərində isə yenidən, az da olsa, artmasına səbəb olur.



Şəkil 3.22. Noxud yarpaqlarında APO-nun aktivliyinin şüalanma dozasından və duzun qatılığından asılılığı

APO-nun aktivliyinin şüalanma dozasından asılılığına dair nəticələrdən (şəkil 3.23) aydın olur ki, qarğıdalıda bu ferment KAT-a oxşar formada dəyişmə dinamikası nümayiş etdirir. Belə ki, şüalanma dozasının artması APO-nun da aktivliyini artıraraq, maksimal həddə çatdırır, sonra isə ferment aktivliyini dəyişir.

APO və KAT-ın müəyyən şəraitlərdə oxşar fəaliyyət göstərə bilmələrini onların hər ikisinin H_2O_2 -nin zərərsizləşdirilməsində eyni rola malik olmaları ilə izah etmək mümkündür.

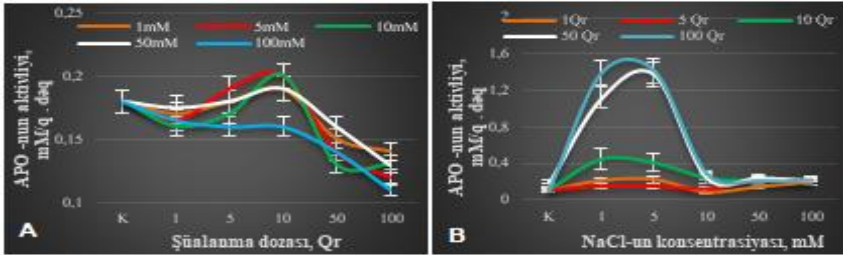


Şəkil 3.23. Qarğıdalı yarpaqlarında APO-nun aktivliyinin şüalanma dozasından və duzun qatılığından asılılığı

APO -nun aktivliyinin NaCl -un konsentrasiyasından asılılığı da özünəməxsusluğu ilə seçilir (şəkil 3.23). Bu halda APO-nun aktivliyi 1, 5 və 10 mM duz qatılıqlarında dəyişmir, (10-100) mM aralığında artaraq maksimal qiymətə çatır, sonra isə təxminən dəyişməz qalır.

KAT-ın aktivliyinin NaCl-un qatılığından asılılığında da oxşar dinamika mövcud idi. Bu nəticələr bir daha APO və KAT-ın müəyyən şəraitlərdə oxşar fəaliyyət göstərməsinin sübutudur.

İkili stres şəraitində (şəkil 3.24) noxud üçün orta dozalarda APO aktivliyinin müəyyən duz qatılıqlarında artması, yüksək dozalarda isə bütün duz qatılıqlarında azalması baş verir.



Şəkil 3.24. Şüalanmış toxumlardan duz məhlulu şəraitində yetişən noxud (A) və qarğıdalı (B) yarpaqlarında APO-nun aktivliyinin duz qatılığından asılılığı

Belə şəraitdə qarğıdalıda APO-nun aktivliyi (1–10) mM duz qatılıqlarında şüalanma dozasının 10 Qr-dən başlayaraq artması bu fermentin aktivliyinin əhəmiyyətli dərəcədə artmasına səbəb olur. Yüksək duz konsentrasiyalarında isə ferment bütün şüalanma dozalarında kontroldakı aktivliyə bərabər aktivlik nümayiş etdirir.

APO və SOD-un aktivliklərinə dair nəticələri ümumiləşdirməklə hesab etmək olar ki, aşağı duz qatılıqlarında toxumların yüksək dozalarda şüalandırılması böyük miqdarda superoksid radikalların yaranmasına səbəb olur. Nəticədə onların dismutasiyasına tələbat yaranır, SOD fermenti aktivləşir və H_2O_2 molekulları yaranır. Belə olan halda həm də H_2O_2 -lərin detoksikasiyasına tələbat yaranmalı və bu funksiyaları yerinə yetirən APO və KAT fəallaşmalıdır. Bu zaman H_2O_2 -nin kiçik konsentrasiyalarında APO-ya, böyük konsentrasiyalarında isə KAT-a tələbat yaranmalıdır.

Qeyd edək ki, bu nəticələr antioksidant sisteminin fəaliyyət mexanizminin öyrənilməsi baxımından əhəmiyyət kəsb edən nəticələrdir.

NƏTİCƏLƏR

1. Toxumların γ -şüalarla işlənməsi həm noxud, həm də qarğıdalının əsas biometrik göstəricilərinin nəzarət bitki ilə müqayisədə kiçik doza oblastında artmasına (~1.5 dəfə), yüksək doza

oblastında isə, əksinə, azalmasına (~ 6 dəfə) səbəb olur. Duz stresinin şiddətlənməsi cücərtilərin boyu, yarpaqların sayı və sahəsi, zoğların sayı və zoğlararası məsafə, əsas kökün uzunluğu kimi boyatma və inkişaf parametrlərində qarğıdalı üçün kiçikmiqyaslı, noxud üçün isə irimiqyaslı dəyişmələr yaradır.

2. Noxudla müqayisədə qarğıdalı bitkisi həm ionlaşdırıcı şüalanmanın, həm də duz stresinin təsirinə daha yüksək davamlılıq göstərir.

3. Qamma şüalanmanın ayrılıqda yüksək dozalarda, NaCl -un isə ayrılıqda yüksək konsentrasiyalarda noxud və qarğıdalı bitkilərinin boyatma və inkişafına inhibirləşdirici təsir göstərməsinə baxmayaraq, toxumların γ -şüalarla işlənməsi hətta yüksək konsentrasiyalarda belə bu bitkilərin duz stresi şəraitində normal inkişafını təmin edir.

4. Hər iki bitkidə γ -şüalanma dozasının və duz qatılığının artması MDA –nın miqdarının artmasına səbəb olur. Radiasiya stresi halında bu kiçikmiqyaslı, duz stresi halında isə irimiqyaslı olur. Bu nəticələr “ γ -şüalanma hüceyrə membranlarında kiçik, duz stresi isə böyük dağıntılar yaradır” fikrini söyləməyə əsas verir.

5. İonlaşdırıcı şüalanma kiçik doza oblastında xlorofil sintezinə stimullaşdırıcı, böyük doza oblastında isə ləngidici təsir göstərdiyi halda, duz stresi bütün konsentrasiyalarda yaşıl piqmentlərin sintezinə inhibirləşdirici təsir göstərir.

6. Yüksək doza və yüksək duzluluq şəraitlərində karotinoidlər və prolin, antioksidant olaraq, birlikdə fəaliyyət göstərdiyi halda, zəif stres şəraitlərində karotinoidlərə tələbat olmur və prolinin sərbəst radikalların zərərsizləşdirilməsinin öhdəsindən təkbaşına gələ bilər.

7. SOD və KAT -ın oxşar və yüksək aktivlik nümayiş etdirməsinin səbəbi SOD-un radiasiya və duz streslərində yaranan superoksid radikalları dismutasiya etməsi, bu reaksiya nəticəsində yaranan H_2O_2 -nin isə KAT tərəfindən detoksikasiya edilməsidir. SOD -un kiçik aktivliyi fonunda KAT-ın aktivliyinin artması isə H_2O_2 -nin dismutasiya reaksiyalarının məhsulu kimi deyil, sərbəst yaranması kimi başa düşülməlidir. Bu zaman H_2O_2 -nin kiçik konsentrasiyalarda yaranması KAT-ın zəif aktivliyi fonunda APO-nun aktivliyini artırmalıdır.

DƏRC OLUNMUŞ ELMİ ƏSƏRLƏRİN SİYAHISI

1. Аббасзаде Г.З., Велиджанова М.З., Джафаров Э.С. Динамика изменения содержания малондиальдегида в листьях кукурузы (*Zea Mays L.*) в условиях отдельного и совместного воздействия радиационного и солевого стресса. *Матер. XXXIII Межд. Конф. «Актуальные пробл. в соврем. науке и пути их решения»*. Москва, 2016, №2, ч.2, с.12-15.

2. Джафаров Э.С., Велиджанова М.З., Аббасзаде Г.З. Биометрические показатели и активность супероксиддисмутазы в условиях солевого стресса для *Pisum L.*, семена которого перед посевом подверглись гамма-облучению. *Сборник статей XVIII Межд. Конф. «Актуальные проблемы науки XXI века»*, Москва, 2017, с. 5-9.

3. Джафаров Э.С., Велиджанова М.З., Агаева А.В. Адаптационная особенность к солевому стрессу некоторых сельскохозяйственных растений, семена которых перед посевом подверглись гамма облучения в разных дозах. *Сб. статей Межд. Конф. «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2017»*. Севастополь, 2017. с. 377-380.

4.. Велиджанова М.З., Агаева А.В., Джафаров Э.С. Влияние солевого стресса на ферментные компоненты антиоксидантной системы защиты кукурузы, семена которой подверглись предпосевному гамма- облучению при разных дозах. *Межд. научный форум «Ядерная наука и технологии», посвященный 60-летию Института Ядерной Физики. Алматы, 2017, с. 289*

5. E. S. Jafarov, M.Z. Velijanova. Effect of salt stress on the content of photosynthetic pigments in the *Pisum L.* Seeds, which before sowing is subjected to γ -radiation at different doses. *J. of Radiation Reseach. 2017, V. 4, №2, p.80-86.*

6. Велиджанова М.З., Оруджева Дж.Р., Джафаров Э.С. Влияние солевого стресса на содержание малондиальдегида в листьях нута (*Cicer arietinum l.*), семена которого перед посевом подверглись γ - облучению при разных дозах. *Матер. Межд. Научно-практической конф. «Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы»*. 2018, Обнинск, с.65-68.

7. E.S.Jafarov, M.Z.Velijanova, J.R.Orujova. A comparative study of antioxidant enzymes in conditions of salt stress for chickpeas (*Cicer arietinum*) and corn (*Zea mays L.*). *AMEA-nın Məruzələri*, 2018, № 2, p.73-76.

8. Э.С.Джафаров, М.З.Велиджанова, Дж. Р. Оруджева. Влияние предпосевного облучения семян на солеустойчивость нута бараньего. *Вестник Укр. Общ. генетиков и селекционеров*. 2018, том 16, №2, с. 150-158.

9. C.R.Orucova, M.Z.Vəlicanova, E.S.Cəfərov. Toxumları qamma şüalarla işlənmiş qarğıdalı və noxud bitkilərinin antioksidant fermentlərinin fəaliyyətinin müqayisəli öyrənilməsi. *J. of Radiation Researches*. 2018, V.5, №2, p.470 - 476.

10. E. S. Jafarov *, M. Z. Velijanova, J. R. Orujova. Corn Response to

Separate and Joint Effects of Radiation and Salt Stress. Journal of Stress Physiology & Biochemistry, Vol. 15, No. 2, 2019, pp. 10-20.

11. E.S.Jafarov, M.Z.Velijanova, J.R.Orujova. Effect of pre-sowing irradiation of chickpea seeds on the content of low molecular weight antioxidants under salt stress. Seventh International Conference on Radiation in Various Fields of Research (RAD 2019). Herceg Novi, Montenegro, June 10 – 14. 2019, p. 369.

12. Велиджанова М.З., Оруджева Дж. Р., Э.С.Джафаров. Влияние предпосевного γ - облучения семян на содержание общего белка в *cicer arietinum* L., произрастающей в условиях солевого стресса. II международный научный форум «Ядерная наука и технологии» Международная конференция «Ядерные и радиационные технологии в медицине, промышленности и сельском хозяйстве» 24-27 июня 2019 года Алматы, Казахстан, стр. 227-228.

13. Велиджанова М.З., Оруджева Дж. Р., Годжаева Г.А., Джафаров Э.С. Содержание пролина в *Cicer arietinum* L., произрастающей в условиях радиационного и солевого стресса. Межд. научно-практич. конф. «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019», 23 – 26 сентября 2019 года, г. Севастополь, стр. 370-373.

14. Velijanovа M. Z. Role of low-molecular antioxidants in the reaction of pea plant to the separate and combined effects of salt and radiation stress. Journal of Radiation Researches, Baku, 2019. 6(2), p.110-118.

15. E. S. Jafarov, MZ Velijanovа. Non-fermentative response to salt stress of the maize plant, which seeds were exposed to pre-sowing gamma-irradiation. International Journal of Botany Studies. 2020.5(4). p. 23-28.

16. Velijanovа M. Z. Investigation of the effect of presowing gamma irradiation of seeds on the antioxidant activity of *Zea Mays*, growing under conditions of salt stress. АМЕА-нын Мәрузәләри. 2020, LXXVI, №1-2, s.76-80.

17. E. S. Jafarov, M. Z. Velijanovа. Adaptive reaction to salt stress in *Cicer arietinum* L. grown from seeds exposed to pre-sowing γ – irradiation. *Inter. J. of Biology and Chemistry* 2020, v. 13, №2, p. 96-109 (*Thomson Reuters*).

18. М.З.Велиджанова, Г.А.Годжаева, Э.С. Джафаров. Перекисное окисление липидов мембран в *Zea mays* и *Cicer arietinum*, семена которых подверглись предпосевному гамма облучению. Матер. VIII Съезда по радиационным исследованиям. Москва, 12-15 октября 2021 г. С. 89.

19. E.S.Jafarov, M.Z.Velijanova, H.G.Babayev. The effect of seed treatment with gamma irradiation on biometric indices and chlorophyll synthesis in the maize (*Zea mays*) plant grown under salt stress. *J. Stress physiology and biochemistry*. 2022, Vol. 18, No. 2, pp. 5-15.

20. E. Jafarov, M. Velijanovа et al. Functioning of antioxidant defense systems of *Zea mays*, the seeds of which were subjected to pre-sowing γ -irradiation in conditions of salt stress. 10th Jubilee *Inter. Conf. on Radiation in Various Fields of Research (RAD 2022)*. Herceg Novi, Montenegro. July 25–29. 2022. p. 100.

Dissertasiyanın müdafiəsi 22 dekabr 2022 –ci il tarixində saat 10⁰⁰-da AMEA Radiasiya Problemləri İnstitutunun nəzdində yaradılmış birdəfəlik BFD 3.07 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ1143, Bakı şəh., Bəxtiyar Vahabzadə küçəsi, 9

Dissertasiya ilə AMEA Radiasiya Problemləri İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Radiasiya Problemləri İnstitutunun rəsmi internet saytında (<https://www.irp.science.az/>) yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 18 noyabr 2022-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 16.11.2022

Kağızın formatı: A5

Həcm: _____

Tiraj: 100