

Duz Stresinin Müxtəlif Buğda Genotiplərinin Fizioloji Göstəricilərinə Təsiri

Ü.F. İbrahimova^{1,2}, T.H. Qaragözov^{1,2}, Y.M. Feyziyev^{1,2*}

¹AMEA Molekulyar Biologiya və Biotexnologiya İnstitutu, Mətbuat pros., 2A, Bakı AZ1073, Azərbaycan

²Azərbaycan Əkinçilik Elmi-Tədqiqat İnstitutu, Pirşağı qəs., 2 saylı sovxoz, Bakı AZ1098, Azərbaycan;

*E-mail: ya_feyziyev@yahoo.com

Süni torpaq şoranlığının buğdanın *Triticum aestivum* L. (Qiymətli-2/17, Nurlu-99 və Əzəmətli-95) və *Triticum durum* Desf. (Qaraqılçiq-2 və Bərəkətli-95) növlərinin bəzi genotiplərində fizioloji proseslərə təsiri öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, şoranlığın yaratdığı stres, davam etmə müddətindən asılı olaraq, bitkilərin yarpaqlarında fotosintetik pigmentlərin (xlorofil *a*, *b* və karotinoidlər) miqdarına müxtəlif şəkildə təsir etmişdir. Stresin 5-ci gününədək pigmentlərin miqdarında artım müşahidə olursa da, sonrakı günlərdə pigmentlərin miqdarı azalmağa başlamışdır. Müəyyən olunmuşdur ki, torpaqda NaCl duzunun 150 mM qatılığı genotiplərin xloroplastlarının fotosistem II-nin flüoresensiya dəyişmələri ilə təyin olunan $(F_M - F_0)/F_M$ nisbəti fotokimyəvi fəallığına əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərmir. NaCl-un 300 mM qatılığında isə xloroplastların fotokimyəvi fəallığı nəzərə çarpacaq dərəcədə azalmışdır. Bu azalma daha çox quraqlığa həssas Qaraqılçiq-2 genotipində müşahidə edilmişdir. Duz təsirinə məruz qalmış bitkilərdə antioksidant fermentlərin fəallığının tədqiqi NaCl-un 150 mM qatılığında askorbatperoksidaza (APO), katalaza (KAT) və qvayakolperoksidazanın (QPO) fəallığının artdığını, qlutatioerduktazanın (QR) fəallığının isə (Bərəkətli-95 genotipi istisna olmaqla) azaldığını göstərmişdir. NaCl-un 300 mM qatılığında isə nümunələrin genotipik xüsusiyyətlərindən asılı olaraq antioksidant fermentlərinin fəallıqları dəyişmiş və Bərəkətli-95 genotipində APO və QPO fermentlərinin fəallığı yüksək olmuşdur.

Açar sözlər: Buğda, duz stressi, fotokimyəvi fəallıq, fotosintetik pigmentlər, antioksidant fermentləri

GİRİŞ

Duz stressi bitkilərin inkişafını və məhsuldarlığını məhdudlaşdıran amillərdən biridir. BMT-nin Ərzaq və Kənd Təsərrüfatı Təşkilatının (FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations) məlumatlarına əsasən, dünyada əkinə yararlı torpaqların təxminən 20%-ə qədəri şorlaşmışdır (FAO GFSSC).

Stressorun gücündən və təsirin davam etmə müddətindən asılı olaraq duz stressi bitkilərdə bir çox fizioloji və metabolik proseslərdə dəyişikliyə səbəb olur. Müxtəlif duzlar bitkilərin inkişafına osmotik və toksik təsiri göstərir (Ferguson and Grattan, 2005; Silva et al., 2008; Bajji et al., 2011). İlkin olaraq, torpaqda duzların artıq miqdarda toplanması ilə əlaqədar olaraq su potensialının aşağı düşməsi bitkinin kökləri tərəfindən suyun udulmasını çətinləşdirir, nəticədə, bitkilərdə su qıtlığı və ya osmotik stres yaranır. Sonra duzların osmotik təsiri ion təsiri ilə müşayiət olunur və hüceyrədə Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} və s. ionların artıq miqdarda toplanması baş verir. Bu ionların hüceyrədə artıqlığı bitkiyə toksik təsir göstərir (Munns, 2008; Parida, Das, 2005; Akram, 2007).

Duz stressi həmçinin hüceyrənin müxtəlif komponentlərinin zədələnməsinə səbəb olan oksigenin fəal formalarının (OFF) yaranmasını da induksiya

edir. OFF yüksək fəallığa malik olub, zülallara, lipidlərə, amin turşularına zərərli təsir göstərərək hüceyrənin normal metabolizmini pozurlar.

Torpaqların şoranlaşması son zamanlar global xarakter aldığından, müasir elmi tədqiqatlarda bitkilərin duzadavamlılığı ilə bağlı problemlərə böyük əhəmiyyət verilir. Buğda duza davamlı bitkilərdən hesab olunmur, lakin əkinə yararlı sahələrinin davamlı olaraq tədricən şorlaşması və dünyada mövcud qida problemi buğdanın nisbətən zəif şorlaşmış ərazilərdə də becərilməsini zəruri edir. Buna görə də buğda bitkisinin duzadavamlılıq mexanizmlərinin öyrənilməsi, duzadavamlı genotiplərin seçilərək əkilməsi və seleksiya işlərinə cəlb edilməsi müasir biologiyanın aktual problemlərindəndir.

Bu işdə buğdanın *Triticum aestivum* L. və *Triticum durum* Desf. növlərinin NaCl duzu stressinə məruz qalmış müxtəlif genotiplərinin duzadavamlılıq xassələri xloroplastların fotokimyəvi reaksiyaları və antioksidant fermentlərinin öyrənilməsi əsasında tədqiq edilmişdir.

MATERIAL VƏ METODLAR

Tədqiqatlarda yerli seleksiyanın yüksək məhsuldarlıq və abiotik amillərə qarşı fərqli davamlılıq nümayiş etdirən *T. durum* Desf. (Bərəkətli-95,

Qaraqılçiq-2) və *T. aestivum* L. (Əzəmətli-95, Qiymətli-2/17 və Nurlu-99) genotiplərindən istifadə olunmuşdur (Aliiev et al., 2013). Bitkilər süni iqlim kamerasında işıq intensivliyinin 3000 luks, temperaturun 25-30°C və havanın nisbi rütubətinin 70-80% olduğu mühitdə böyüdülmüşdür. Toxumlar 5 kq torpaq tutumuna malik vegetasiya qablarında ($d \times H = 15 \times 30$ sm) əkilmişdir. Bitkilər 3-cü yarpaq mərhələsinə qədər normal suvarılmış, 3-cü yarpağın əmələ gəlməsindən sonra isə bitkilərin bir hissəsində (təcrübə variantı) 150 və 300 mM NaCl məhlulu əlavə edilməklə süni duz stressi yaradılmışdır. Fotosintetik piqmentlərin miqdarı (xlorofil *a*, xlorofil *b* və karotinoidlər) spektrofotometrik metodla (Wintermans De Mots, 1965; Wettstein 1957) ölçülmüşdür. Xloroplastlar əvvəllər təklif olunmuş metoda (Whatley and Arnon, 1963) bəzi dəyişikliklər edilməklə izlə olunmuşdur. Xlorofilin dəyişən flüoressensiyası laboratoriya şəraitində yığılmış optik spektrometrdə ölçülmüşdür (Feyziyev, 2009). Katalaza (KAT, EC 1.11.1.6), askorbatperoksidaza (APO, EC 1.11.1.11), qvayakolperoksidaza (QPO, EC 1.11.1.7) və qlütationreduktaza (QR, EC 1.6.4.2) fermentlərinin fəallığı spektrofotometrik metodla (Kumar and Knowles, 1983; Nakano and Asada, 1981; Gechev et al., 2002) təyin olunmuşdur.

NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ

Duzların torpaqda artıqlığı bitkilərin fizioloji-biokimyəvi halına təsir edərək onların böyüməsini, inkişafını və bir sıra metabolik və bioenergetik proseslərini ləngidir. Başqa abiotik amillər kimi şoranlıq da, fotosintez reaksiyalarına ciddi təsir etdiyindən, duz stresinə məruz qalmış bitkilərdə həmin reaksiyaların öyrənilməsi duzadavamlı genotiplərin scriningi, duzadavamlılıq mexanizmlərini anlamında önəmli əhəmiyyət daşıyır.

Məlumdur ki, xlorofil (Xl) *a* və *b*, eləcə də karotinoidlər bitkilərdə əsas fotosintetik piqmentlər olub, işıq kvantlarının udulmasını və həyəcanlaşma enerjisinin fotosintetik reaksiya mərkəzlərinə ötürülməsini təmin edirlər (Sairam, 2002). Hüceyrədə Na^+ və Cl^- ionlarının artıqlığı fotosintez piqmentlərinin miqdarına da təsir göstərir. Göstərilmişdir ki, duzların uzun müddətli təsiri nəticəsində xlorofil-zülal komplekslərinin yığılması prosesi pozulur (Akbari et al., 2012), tilakoid membranlarında zədələnmələr baş verir. Fotosintetik piqmentlərin və fotosintezinin intensivliyinin azalması bitki toxumasında Na^+ ionlarının yüksək miqdarda toplanmasından əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır (Sairam et al., 2002). Bunu nəzərə alaraq, süni torpaq şoranlığında yetişdirilən bitkilərin yarpaqlarında fotosintetik piqmentlərin miqdarı duz stresinin (150

və 300 mM NaCl) təsirinə məruz qaldıqdan 5; 8 və 12 gün sonra təyin olunmuşdur (Cədvəl 1)

Cədvəl 1-dən göründüyü kimi 150 mM NaCl duzu stresinin təsirinə məruz qaldıqdan 5 gün sonra öyrənilən genotiplərin hamısında, nəzarət bitkiləri ilə müqayisədə, ümumi xlorofilin və karotinoidlərin miqdarı artmışdır. NaCl-un 300 mM qatılığında isə müxtəlif genotiplərdə fərqli dəyişikliklər – piqmentlərin miqdarının artması və azalması müşahidə olunmuşdur. Belə ki, Nurlu-99 və Əzəmətli-95 genotiplərində xlorofilin ümumi miqdarı nəzarət bitkiləri ilə müqayisədə artmış, Qiymətli-2/17 və Qaraqılçiq-2 genotiplərində isə bu göstərici azalmışdır. Stresin 8-ci günündən başlayaraq tədqiq olunan bütün genotiplərdə fotosintetik piqmentlərin miqdarı azalmışdır. Bu azalma NaCl-un 300 mM qatılığında daha çox olmuşdur.

Stresin 5; 8 və 12-ci günlərində, duzun 150 və 300 mM qatılıqlarında tədqiq olunan genotiplərin, demək olar ki, hamısında nəzarət bitkiləri ilə müqayisədə $Xl a/b$ nisbətinin azalması müşahidə edilmişdir. Bununla belə NaCl-un həm 150, həm də 300 mM qatılıqlarının təsiri müddətində $Xl a/b$ nisbəti tədricən artaraq, sonda (12-ci gün) nəzarət bitkisində müşahidə olunan qiymətə yaxınlaşmışdır. Cədvəldən göründüyü kimi, bu $Xl a$ və b piqmentlərinin miqdarının həm duzun qatılığından, həm də təsiretmə müddətindən asılı olaraq fərqli şəkildə dəyişməsi ilə əlaqədar ola bilər.

Karotinoidlər xloroplastlarda əlavə işıq reseptorları rolunu oynamaqla fotosintezin spektral diapazonunun genişlənməsini təmin edir. Bununla yanaşı, karotinoidlər fotosintez zamanı müdafiə funksiyasını həyata keçirib bitki hüceyrəsinin membranlarını işığın təsirindən yaranan oksidləşdirici zədələnmədən qoruyurlar (Verma et al., 2005). Cədvəl 1-dən göründüyü kimi, stresin təsirinin 8-ci günü duz stresinin təsirinə məruz qalmış genotiplərdən karotinoidlərin miqdarına görə ən yüksək göstəricilər Bərəkətli-95 və Əzəmətli-95 genotipində qeydə alınmışdır. Bundan başqa stresin 5-ci günündə, duzun 150 mM qatılığında, tədqiq olunan genotiplərin hamısında karotinoidlərin artımı müşahidə olunmuşdur. Eyni hal Əzəmətli-95 və Bərəkətli-95 genotiplərində stresin 8-ci günündə də müşahidə olunmuşdur.

Məlumdur ki, xlorofilin flüoressensiyası bitkilərin fotosintez aparatının funksional halını xarakterizə edən əsas göstəricilərdən biridir (Maxwell and Johnson, 2000). Bitkilərdə xlorofilin flüoressensiyasının əsas mənbəyi ikinci fotosistemdir (FS II). Elektronun FS II-də daşınması zamanı xlorofil flüoressensiyasının intensivliyi induktiv olaraq minimal F_0 səviyyəsindən maksimal F_M səviyyəsində 3-5 dəfə artır.

Genotiplər	Piqmentlərin miqdarı, mq/q y.ç.	8-ci gün						12-ci gün					
		5-ci gün		8-ci gün		12-ci gün		5-ci gün		8-ci gün		12-ci gün	
		nəzarət	150 mM NaCl	300 mM NaCl	nəzarət	150 mM NaCl	300 mM NaCl	nəzarət	150 mM NaCl	300 mM NaCl	nəzarət	150 mM NaCl	300 mM NaCl
Qiyəməli-2/17	XI (a+b)	4,16±0,21	4,71±0,18	3,42±0,11	4,48±0,22	3,82±0,12	2,43±0,07	4,35±0,19	3,14±0,13	2,77±0,08	3,14±0,13	2,77±0,08	
	XI a/b	2,31±0,08	1,93±0,02	1,61±0,04	2,24±0,06	2,82±0,07	2,23±0,07	2,71±0,06	2,45±0,07	2,37±0,09	2,45±0,07	2,37±0,09	
	kar	0,96±0,04	1,31±0,06	0,95±0,01	0,95±0,03	0,88±0,03	0,82±0,03	0,86±0,03	0,82±0,02	0,78±0,02	0,82±0,02	0,78±0,02	
Nurlu-99	XI (a+b)	3,81±0,21	4,42±0,23	4,61±0,15	4,33±0,21	4,12±0,02	3,32±0,09	4,12±0,18	3,31±0,09	3,00±0,09	3,31±0,09	3,00±0,09	
	XI a/b	2,45±0,07	1,91±0,07	1,52±0,05	2,11±0,07	1,66±0,06	2,00±0,08	2,15±0,07	2,33±0,14	2,31±0,09	2,33±0,14	2,31±0,09	
	kar	0,93±0,02	1,42±0,03	0,95±0,04	0,91±0,04	0,94±0,04	0,81±0,04	0,91±0,04	0,88±0,03	0,85±0,04	0,88±0,03	0,85±0,04	
Əzəməli-95	XI (a+b)	4,52±0,18	5,53±0,19	5,12±0,24	5,12±0,26	4,92±0,23	4,51±0,19	4,82±0,23	4,62±0,23	3,36±0,18	4,62±0,23	3,36±0,18	
	XI a/b	2,15±0,06	1,89±0,05	1,77±0,04	2,13±0,06	2,14±0,06	2,21±0,07	1,82±0,06	1,87±0,05	2,51±0,07	1,82±0,06	2,51±0,07	
	kar	1,13±0,03	1,62±0,05	1,41±0,05	1,14±0,03	1,51±0,05	1,00±0,03	0,95±0,05	0,95±0,05	0,78±0,04	0,95±0,05	0,78±0,04	
Qaraqılcıq 2	XI (a+b)	4,53±0,28	4,71±0,21	4,32±0,21	4,22±0,19	4,21±0,18	3,00±0,12	4,42±0,23	3,51±0,13	2,56±0,11	4,42±0,23	2,56±0,11	
	XI a/b	2,11±0,06	1,76±0,04	1,86±0,04	2,23±0,06	1,82±0,04	2,23±0,07	2,14±0,06	2,51±0,07	1,96±0,08	2,14±0,06	1,96±0,08	
	kar	1,14±0,04	1,42±0,05	0,85±0,03	0,98±0,471	0,97±0,05	0,91±0,04	1,22±0,04	1,00±0,04	0,83±0,04	1,22±0,04	0,83±0,04	
Bərəkətli-95	XI (a+b)	4,91±0,25	5,71±0,33	4,91±0,26	5,12±0,31	4,81±0,26	4,12±0,21	3,61±0,14	4,12±0,19	3,61±0,18	4,12±0,19	3,61±0,18	
	XI a/b	1,72±0,07	1,71±0,05	2,32±0,08	2,44±0,08	2,21±0,07	2,72±0,09	1,87±0,06	1,73±0,06	2,61±0,09	1,87±0,06	2,61±0,09	
	kar	1,14±0,03	1,22±0,04	1,32±0,04	0,91±0,02	1,41±0,05	1,21±0,04	1,11±0,03	0,91±0,03	0,71±0,03	1,11±0,03	0,71±0,03	

Fotosintez aparatının qaranlığa adaptasiya olunmuş halını xarakterizə edən F_0 səviyyəsi xarici mühit amillərinin tilakoid membranları səviyyəsində törətdiyi zədələnmələrə həssasdır. Əksinə, fotosintez aparatının işığa reaksiyası olub, nəqliyyat dövrəsində elektron daşıyıcıların oksidləşmə-reduksiya halından asılı olan F_M səviyyəsi həm tilakoid membranını həyəcanlandıran, həm də bilavasitə fotosintez aparatının funksional komponentlərini zədələnməsinə səbəb olan xarici mühit amillərinin təsiri nəticəsində dəyişə bilər. Bu iki (F_0 və F_M) parametrlərin vasitəsi ilə təyin olunan $(F_M-F_0)/F_M$ parametri fotosintez aparatının funksional xarakteristikası üçün vacib parametrlərdən biridir (Фейзи́ев, 2009). Bitkidə baş verən zədələnmə onun vizual aşkar olunmasından əvvəl flüoressensiya metodu vasitəsilə təyin oluna bilər (West, 1986). Belə ki, normal şəraitdə yetişdirilən bitkilərin əksəriyyətində $(F_M-F_0)/F_M$ parametrlərinin qiyməti 0,75-0,80 olur (Bjorkman, 1995). Bu parametrlərin qiyməti göstərilən qiymətdən aşağı olduqda, bitkinin stressə məruz qaldığını güman etmək olar.

Tədqiqat işimizdə şoranlığa məruz qalmış müxtəlif buğda genotiplərinin xloroplastlarında duzun fotosistem II-nin fotokimyəvi fəallığına təsirinə öyrənilmişdir. Aparığımız təcrübələrdə NaCl-un 150 mM qatılığı ($F_M-F_0)/F_M$ nisbətində əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərə bilməmişdir. Belə ki, genotiplərin nəzarət variantında $(F_M-F_0)/F_M$ parametrlərinin qiyməti 0,74-0,75 hüdunda olmuşdur. Duzun artan qatılığında FSII-nin fəallığı azalmışdır. Belə ki, 300 mM NaCl duzu qatılığında $(F_M-F_0)/F_M$ parametrlərinin qiyməti Qiymətli-2/17 genotipində 0,64, Nurlu-99 və Əzəmətli-95 genotiplərində 0,67, Qaraqılçiq-2 genotipində 0,63, Bərəkətli-95 genotipində isə 0,68 təşkil etmişdir (Cədvəl 2).

Cədvəl 2. Duz stresinin xloroplastlarda FSII-nin fotokimyəvi fəallığına təsiri

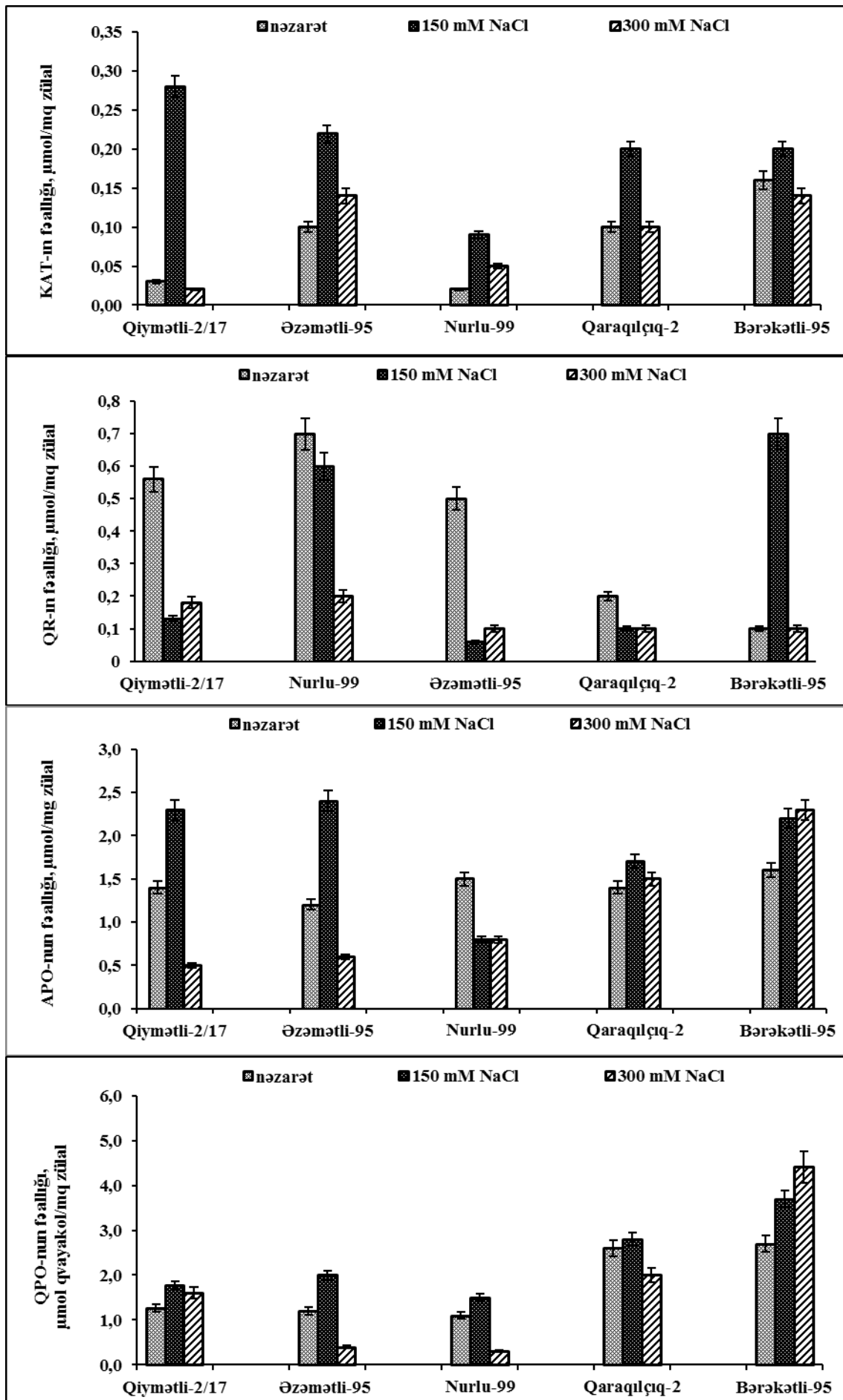
Genotiplər	Variantlar		
	nəzarət	150 mM NaCl	300 mM NaCl
Qiymətli-2/17	0,74	0,73	0,64
Nurlu-99	0,75	0,74	0,67
Əzəmətli-95	0,75	0,74	0,67
Qaraqılçiq-2	0,74	0,73	0,63
Bərəkətli-95	0,75	0,74	0,68

Hüceyrə və molekulyar səviyyədə bitkilərin stres amillərinə, o cümlədən, duz stressinə davamlılığını təmin edən müxtəlif mexanizmlər mövcuddur. Ümumi müdafiə sisteminin əsas mexanizmlərindən biri də oksigenin fəal formalarının zərərsizləşməsində iştirak edən antioksidant fermentlərin fəallıqlarının dəyişməsidir. Duz stresinin təsiri zamanı yarpaqlarda ağızıcıqların keçiriciliyi azalır, nəticədə CO_2 bitki tərəfindən mənimsənilməsinə müqavimət artır. Öz növbəsində bu xloroplastlarda elektronların normal

axınını imhibiləşdirir və OFF-nin yaranmasını sürətləndirir (Aghaleh et al., 2009; Miyake et al., 2006). Oksigenin fəal formalarının yaşama müddəti hüceyrənin oksidləşdirici stressə qarşı müdafiə funksiyasını həyata keçirən antioksidant sistemindən birbaşa asılıdır (Azavedo-Neto, 2006). Bu sistemə askorbat, qlutation, tokoferol, müxtəlif fenol birləşmələri kimi qeyri fermentativ antioksidantlar, eləcə də katalaza, superoksiddismutaza, peroksidazalar kimi əsas antioksidant fermentlər daxildir (Kuk et al., 2003; Luna et al., 2004). Bu səbəbdən NaCl-un 150 və 300 mM qatılıqlarının təsirinə məruz qalmış buğda genotiplərində antioksidant sistemi fermentlərinin fəallığının tədqiqi də xüsusi əhəmiyyətə malikdir.

Son illərdə aparılan tədqiqat işlərində ali bitkilərdə, o cümlədən, buğdada hidrogen peroksida və oksigenin sərbəst radikallarına qarşı müdafiədə katalazanın xüsusi rolu qeyd olunmuşdur (Luna et al., 2004; Munns, 2008). Bizim təcrübələrdə KAT fəallığı tədqiq olunan genotiplərin müxtəlif duz qatılıqlarının təsirinə məruz qalmış variantlarında nəzarət variantları ilə müqayisədə fərqli olmuşdur. Belə ki, NaCl-un 150 mM qatılığında bütün genotiplərin yarpaqlarında KAT fəallığı nəzarət variantı ilə müqayisədə artmışdır (Şəkil). Ən yüksək fəallıq Qiymətli-2/17 genotipində qeyd alınmışdır. NaCl-un 300 mM qatılığında isə əksinə, bütün genotiplərdə KAT fəallığı 150 mM duz qatılığı ilə müqayisədə aşağı düşmüşdür. Fermentin fəallığının azalması Qiymətli-2/17 və Nurlu-99 genotiplərində özünü daha qabarıq göstərmişdir. NaCl-un 300 mM qatılığında KAT fəallığı Bərəkətli-95 genotipində, digər genotiplərlə müqayisədə, daha yüksək olmuşdur.

Peroksidazalar – askorbatperoksida və qvayakolperoksida hüceyrənin demək olar ki, bütün kompartmənlərində yayılmışdır. Bu fermentlər hidrogen peroksidin suya ($H_2O_2 \rightarrow H_2O$) reduksiyasını kataliz edirlər. APO askorbat-qlutation tsiklinin 1-ci mərhələsində askorbatı elektron donoru kimi istifadə edir və bitki hüceyrəsində hidrogen peroksidin detoksifikasiyası üçün ən vacib peroksidazalardan biri hesab edilir. Bizim tədqiqatlarda NaCl-un qatılığında asılı olaraq APO və QPO fermentlərinin fəallığının dəyişməsi ayrı-ayrı genotiplərdə fərqli şəkildə olmuşdur (Şəkil). Belə ki, NaCl-un 150 mM qatılığında tədqiq olunan bütün genotiplərdə APO-nun fəallığı nəzarətlə müqayisədə artmışdır. NaCl-un 300 mM qatılığında isə APO-nun fəallığı yumşaq buğdalarda kəskin azalmışdır. Bərk buğdalardan isə Qaraqılçiq-2 genotipində fermentin fəallığı 300 mM duz qatılığı ilə müqayisədə azalsa da, Bərəkətli-95 genotipində bu göstərici əksinə olaraq artmışdır. Duz stressi zamanı APO-nun fəallığının artması onun latent formalarının fəallığının artması və ya fermentin yeni molekullarının sintezi ilə bağlı ola bilər.



Şəkil. NaCl-un müxtəlif qatılıqlarının antioksidant fermentlərin fəallığına təsiri.

Qvayakolperoksidaza stresə dərhal cavab verən fermentdir. Təcrübələrimizdə QPO fermentinin fəallığı NaCl-un 150 mM qatılığında bütün genotiplərdə nəzarət variantı ilə müqayisədə artmış, NaCl-un 300 mM qatılığında isə Nurlu-99, Əzəmətli-95 genotiplərində kəskin azalmışdır. Bərəkətli-95 genotipində QPO fəallığı duzun yüksək qatılığında da artmışdır (Şəkil). Qvayakolperoksidaza fenol birləşmələrinin metabolizmində və liqнинin sintezində iştirak edir. Duzun yüksək qatılığında QPO fəallığının artması antioksidant müdafiənin işə düşməsi və eyni zamanda, hüceyrə divarının möhkəmlənməsi ilə bağlı olan qeyri-spesifik reaksiyanın nəticəsi ilə izah oluna bilər (Mitteler et al., 2002).

Tədqiq edilən bütün genotiplərdə qlutation reduktazanın fəallığı NaCl-un hər iki qatılığında (NaCl-un 150 mM qatılığında Bərəkətli-95 genotipi istisna olmaqla) nəzarət variantı ilə müqayisədə azalmışdır. Qlutation reduktazanın fəallığının azalması qlutation molekulunun dağılması və ya sintezinin azalması ilə izah oluna bilər.

Duzun qatılığından asılı olaraq, buğdadada oksidləşdirici stresin fermentlərinin fəallığının dəyişməsi haqqında müxtəlif fikirlər mövcuddur. Hameed və əməkdaşları duzadavamlılığına görə fərqlənən 2 yumşaq buğda genotipinin (Lu-26, Pak-81) cücərtilərində NaCl-un müxtəlif (50; 100 və 150 mM) qatılıqlarında katalazanın fəallığını öyrənmiş və həmin genotiplərdə bütün duz qatılıqlarında fermentin fəallığının azaldığını söyləmişlər (Hameed et al., 2008).

NaCl-un təsirindən asılı olaraq noxud yarpaqlarında (Hernandez et al., 2000), düyüdə (Lin and Kao, 2001), buğda yarpaqlarında (Goudrazi and Pakniyat, 2009) PO fəallığının stimülə olunması göstərilmişdir. Müasir tədqiqatlar peroksidazanın fəallığı ilə bitkilərin duz və ya su çatışmamazlığı streslərinə qarşı davamlılığı arasında korrelyasiyanın olduğunu göstərir. Marvi və həmkarları 8 müxtəlif buğda genotipinin duz stresinə cavab reaksiyasını izləmişlər. Onlar bir sıra fizioloji parametrlərlə yanaşı, bitkinin duzun müxtəlif qatılıqlarına qarşı (0; 100; 200 və 300 mM NaCl) biokimyəvi cavab reaksiyalarını da öyrənmiş və belə bir nəticəyə gəlmişlər ki, duzun təsiri nəticəsində bitkinin yarpaqlarında APO və KAT fermentlərinin fəallığı artır, QPO fermentinin fəallığı isə azalır (Marvi et al., 2011). Sen və Alikmanoğlu'nun işlərində buğda bitkisiində duzun qatılığı artdıqca KAT və PO fermentlərinin fəallığının artması da göstərilmişdir (Sen and Alikmanoglu, 2011).

Bizim tədqiqatların nəticələri də bu fikirlərlə uzlaşır. Belə ki, NaCl-un 150 mM qatılığında tədqiq edilən buğda genotiplərində göstərilən hər dörd fermentin fəallığı duzun təsirindən asılı olaraq artmışdır. NaCl-un 300 mM qatılığında isə genotiplərin davamlılığından asılı olaraq fermentlərin

fəallıqları azalmışdır. İstisna olaraq, Bərəkətli-95 genotipində APO və QPO fermentlərinin fəallığı NaCl-un yüksək qatılığında da artmışdır.

Beləliklə alınan nəticələr göstərir ki, davamlı bitkilər daha effektiv müdafiə sistemlərinə malikdirlər və bu da stres şəraitində onların hüceyrə və orqanlarının öz funksiyalarını normal həyata keçirilməsini təmin edir.

ƏDƏBİYYAT

- Фейзиев Я.М.** (2009) Перенос электронов в каталитических реакциях окисления воды фотосистемы II: Дис. док. биол.-наук. Баку, 364 с.
- Aghaleh M., Niknam V.** (2009) Effect of salinity on some physiological and biochemical parameters in explants of two cultivars of soybean (*Glycine max* L.). *J. Phytol.*, **1(2)**: 86-94.
- Aliyev J.A., Talai J.M., Musayev A.J. et al.** (2013) Catalogue of cereal and legume varieties. Baku, Nurlar: 296p.
- Akram M., Malik M., Ashraf M. et al.** (2007) Competitive seedling growth and K^+/Na^+ ratio in different maize (*Zea mays* L.) hybrids under salinity stress. *Pakistan Journal of Botany*, **39 (7)**: 2553-2563.
- Azavedo-Neto A., Prisco J., Eneas-Filho J. et al.** (2006) Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and salt-sensitive maize genotypes. *Environ. Exp. Bot.*, **56 (1)**: 87-94.
- Bajji M., Kinet J.-M., Lutts S.** (2011) Osmotic and ionic effects of NaCl on germination, early seedling growth, and ion content of *Atriplex halimus* (*Chenopodiaceae*). *Canadian J. Botany*, **80 (3)**: 297-304.
- Bjorkman O., Demmig-Adams B.** (1995) Regulation of photosynthesis light energy capture, conversion, and dissipation in leaves of higher plants. In: *E.D.Schulze and M.M.Caldwell (eds.) Ecophysiology of Photosynthesis*. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag: 17-47.
- FAO GFSCC** (2010) Proceedings of the Global Forum on Salinization and Climate Change. Valencia: 110 p.
- Ferguson L., Grattan S.R.** (2005) How salinity damages citrus: Osmotic effects and specific ion toxicities. *Hort. Technology*, **15 (1)**: 100-103.
- Gechev T., Gadjiev I., van Breusagem E. et al.** (2002) Hydrogen peroxide protects tobacco from oxidative stress by inducing a set of antioxidant enzymes. *Cell Mol. Life Sci.*, **59(4)**: 708-714
- Goudarzi M., Pakniyat H.** (2009) Salinity cause increase in prolin and protein content and peroxidase activity in wheat cultivars. *J. Appl. Sci.*, **9(2)**: 348-353.

- Hameed A., Naseer S., Iqbal T. et al.** (2008) Effect of NaCl salinity on seedling growth, senescence, catalase and protease activities in two wheat genotypes differing in salt tolerance. *Pak. J. Bot.*, **40(3)**: 1043-1051.
- Hernandez J., Jimenez P., Mullineaux P., Sevilla F.** (2000) Tolerance of pea (*Pisum sativum* L.) to long term salt-stress is associated with induction of antioxidant defences. *Plant, Cell Environ.*, **23(8)**: 853-862
- Jiang Y., Hung B.** (2001) Drought and stress injury to two cool-season turf grasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Sci.*, **41(2)**: 436-442.
- Kuk Y., Shin J., Burgos N.** Hwang T.E., Han O., Cho B.H., Jung S., Guh J.O. (2003) Antioxidative enzymes offer protection from chilling damage in rice plants. *Crop Sci.*, **43(6)**: 2109-2117.
- Kumar C., Knowles N.** (1993) Changes in lipid peroxidation and lipolytic and free-radical scavenging enzyme during aging and sprouting of potato (*Solanum tuberosum* L.) seed-tubers. *Plant Physiol.*, **102**: 115-124.
- Lin C., Kao C.** (2001) Cell wall peroxidase activity, hydrogen peroxide level and NaCl inhibited root growth of rice seedlings. *Plant and Soil*, **230(1)**: 135-143.
- Luna C., Pastori G.M., Driscoll S., Groten K., Bernard S., Foyer C.H.** (2004) Drought controls on H₂O₂ accumulation, catalase (CAT) activity and CAT gene expression in wheat. *J. Exp. Bot.*, **56(411)**: 417-423.
- Maxwell K., Johnson G.** (2000) Chlorophyll fluorescence - a practical guide. *J. Exp. Bot.*, **51(345)**: 659-668.
- Marvi H., Heydari M., Armin M.** (2011) Physiological and biochemical responses of wheat cultivars under salinity stress. *ARP Journal of Agricultural and Biological Sci.*, **6(5)**: 35-40.
- Mittler R.** (2002) Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sci.*, **7(9)**: 405-409.
- Miyake H., Mitsuya S., Rahman S.** (2006) Ultrastructural effects of salinity stress in higher plants. In: *A.K. Rai, and T. Takaba (eds.) Abiotic stress tolerance in plants*. Netherlands: Springer, p.215-226.
- Munns R., Tester M.** (2008) Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, **59**: 651- 681.
- Nakano Y., Asada K.** (1981) Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiol.*, **22(5)**: 867-880.
- Parida A.K., Das A.B.** (2005) Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicol Environ. Saf.*, **60(3)**: 324-349.
- Sairam R., Veerabhadra R., Shrivastava G.** (2002) Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Sci.*, **163**: 1037-1046
- Sen A., Alikmanoglu S.** (2011) Effect of salt stress on growth parametres and antioxidant enzymes of different wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties on in vitro tissue culture. *PSP*, **20**: 489-495.
- Silva C., Martinez V., Carvajal M.** (2008) Osmotic versus toxic effects of NaCl on pepper plants. *Biologia Pllantarum*, **52(1)**: 72-79.
- Verma S., Mishra S.** (2005) Putrescine alleviation of growth in salt stressed *Brassica juncea* by inducing antioxidative defense system. *J. Plant Physiol.*, **162(6)**: 669-677.
- West D.** (1986) Stress physiology in trees – salinity. *Acta Hort.*, **175**: 322-329
- Wettstein D.** (1957) Chlorophyll-lethal and sub-microscopic form changing of plastids. *Exp. Cell Res.*, **12**: 427-506.
- Wintermans J., De Mots A.** (1965) Spectrofotometric characteristics of chlorophyll *a* and *b* and their pheophytins in ethanol. *Biochim. Biophys. Acta*, **109(2)**: 448-453.

Влияние Солевого Стресса На Физиологические Показатели Различных Генотипов Пшеницы

У.Ф. Ибрагимова^{1,2}, Т.Г. Гарагезов^{1,2}, Я.М. Фейзиев^{1,2}

¹Институт молекулярной биологии и биотехнологии НАНА

²Научно-исследовательский институт земледелия

Изучено влияние искусственного почвенного засоления на физиологические процессы, происходящие у некоторых генотипов *Triticum aestivum* L. (Гийматли-2/17, Нурлу-99 и Азаматли-95) and *Triticum durum* Desf. (Гарагылчыг-2 и Баракатли-95). В зависимости от продолжительности культивирования, стресс, вызванный засоленностью, по-разному влияет на количество фотосинтетических пигментов (хлорофилл *a*, *b* и каротиноиды) в листьях растений. Количество пигментов увеличивается до 5-го дня стрессорного воздействия, затем происходит их уменьшение. Методом определения изменения флуоресценции ФС II ($F_M - F_0$)/ F_M) установлено, что 150 мМ NaCl не оказывает значительного влияния на фотохимическую активность хлоропластов. Однако под влиянием 300 мМ NaCl наблюдается значительное уменьшение фотохимической активности хлоропластов. Это уменьшение более заметно у генотипа Гарагылчыг-2. При воздействии 150 мМ NaCl активность таких антиоксидантных ферментов как аскорбатпероксидаза (АПО), каталаза (КАТ) и гваякол пероксидаза (ГАП) увеличивается, тогда как активность глутатионредуктазы (ГР) уменьшается (за исключением генотипа Баракатли-95). При 300 мМ NaCl активность антиоксидантных ферментов меняется в зависимости от генотипических характеристик образцов, однако высокая активность АПО и ГПО отмечена у генотипа Баракатли-95.

Ключевые слова: пшеница, солевой стресс, фотохимическая активность, фотосинтетические пигменты, антиоксидантные ферменты

Effect Of Salt Stress On Physiological Traits Of Different Wheat Genotypes

U.F. Ibrahimova^{1,2}, T.H. Garagoyozov^{1,2}, Y.M. Feyziyev^{1,2}

¹Institute of Molecular Biology and Biotechnology, ANAS

²Research Institute of Crop Husbandry

The effect of artificial soil salinity on physiological processes occurring in some wheat genotypes of *Triticum aestivum* L. (Giymatli-2/17, Nurlu-99 və Azamatli-95) and *Triticum durum* Desf. (Garagylchyg-2 və Barakatli-95) has been studied. Stress caused by salinity was shown to influence differently on amounts of photosynthetic pigments (chlorophyll *a*, *b* and carotenoids) in plant leaves depending on its duration. The amount of the pigments increased till the 5th day of the stress and then it began to decrease. It was found that 150 mM concentration of NaCl did not effect significantly on photochemical activities (yield parameter ($F_M - F_0$)/ F_M) of chloroplasts determined by changes in photosystem II fluorescence. Whereas 300 mM concentration of NaCl led to a significant decrease in the photochemical activity of chloroplasts. This decrease was more pronounced in the Garagylchyg-2 genotype. Under the influence of 150 mM NaCl activities of antioxidant enzymes such as ascorbate peroxidase (APO), catalase (CAT) and guaiacol peroxidase (GPO) increased while the activity of glutathione reductase (GR) decreased (with the exception of the Barakatli-95 genotype). The activities of the antioxidant enzymes were unchanged under the influence of 300 mM NaCl depending on the genotypic characteristics of the samples, but the APO and GPO activities were high in the Barakatli-95 genotype.

Key words: wheat, salt stress, photochemical activity, photosynthetic pigments, antioxidant enzymes