

AŞAĞI pH MÜHİTDƏ FOTOSİNTETİK APARATIN FORMALAŞMASINA Mn^{2+} EFFEKTİ

A.S. Hüseynzadə^{1*}, S.B. Dadaşova², R.Ə. Qəniyeva²

¹Gəncə Dövlət Universiteti, Heydər Əliyev prospekti 159, AZ2000, Gəncə, Azərbaycan

²Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Botanika İnstitutu, Badamdar yolu 40, AZ1004, Bakı, Azərbaycan

E-mail: aynur.huseynzade.78@mail.ru

Tədqiqatlarda xlorofil a-nın millisaniyə ləngidilmiş flüoressensiyası (Xl a-nın msan LF) və xlorofil-zülal kompleksi (PAGE-poliakrilamid gel elektroforez) metodları ilə buğda cücərti yarpaqlarında (*Triticum aestivum* L.) biogenez prosesinə $MnCl_2$ təsiri öyrənilmişdir. Msan LF tez və ləng komponentlərinin maksimum dəyişkənliklərində olan fərq, həmçinin onların nisbəti göstərir ki, Mn^{2+} toksiki təsiri bir tərəfdən xlorofilin biosintezinin zədələnməsinə, digər tərəfdən fotokimyəvi reaksiyaların formalaşmasının zəifləməsinə gətirib çıxarır. Ehtimal olunur ki, bu dəyişkənliklər fotosistem II-nin (FS II) reaksiya mərkəzləri (RM), protonların qradienti və elektron nəqliyyat zəncirində (ENZ) elektronların daşınma stabililiyi arasında qarşılıqlı zədələnmə nəticəsində baş verir. Elektroforeqramda xlorofil-zülal komplekslərinin işıqtoplayan piklərinin intensivliyinin azalması, xlorofilin formalaşmasının bloklanmasından, piqment-piqment və ya piqment-zülal əlaqələrinin pozulmasından xəbər verir.

Açar sözlər: elektron nəqliyyat zənciri, FS II, ağır metal, biogenez, xlorofil-zülal kompleksi

GİRİŞ

İşıq enerjisinin çevrilməsi prosesində əsas mərhələlərdən biri elektronların sudan ayrılmasıdır. Bu proses fotosintezin işıq mərhələsi üçün zəruridir. Işıqdan asılı suyun oksidləşməsini, katalitik mərkəzi Mn_4CaO_5 klasteri olan oksigen ayıran kompleks (OAK) yerinə yetirir [Lovvagina et al., 2022]. Məlumdur ki, turş mühitdə subhüceyrə səviyyəsində Mn ionları yüksək toksiki xüsusiyyətə malik olur [Sumner et al., 1991]. Digər faktorlardan fərqli olaraq, Mn ionlarının akkumulyasiyası vahid hüceyrə hədəfinə malik deyil. O, hüceyrə divarlarında, holci hissəciklərində və xloroplast tilakoidlərində toplanır [Lidon and Teixeira, 2000]. Fotosintetik aktivliyin azalması və polifenoloksidaza aktivliyinin artması Mn^{2+} toksikliyi haqqında həssas indikator olub, xlorofilin solması ilə nəticələnir [Nable et al., 1988]. Toksik Mn^{2+} toplanaraq, xloroplastın tilakoid membranının xarici tərəfinə birləşir, onların strukturuna və qranların azalmasına təsir edir [Papadakis et al., 2007]. Eyni zamanda fərz edilir ki, yarpaqlarda Mn^{2+} qatılığının artımı çox güman ki, fotokimyəvi reaksiyaların dissipasiyasından çox, karbon qazının reduksiya-

edici tsiklinə daha təsirli olur [Kitao et al., 1997]. Məqalədə msan LF induksion ayrılarının tədqiqi əsasında fotosintetik aparatın formalaşması prosesində Mn ionunun əlaqə yerinin təyin olunmasına cəhd edilmişdir [Stefanov et al., 2018].

MATERIAL VƏ METODİKA

Tədqiqat obyekti 6, 12, 24, 48 saat ($240\text{mkVt}/\text{sm}^2$) işıqlanma və $\text{pH}=5,0$ mühitində yaşıllaşan, tərkibində ($100\text{mg}/\text{l}$) qatılıqda $MnCl_2$ olan 7 günlük buğda cücərtiləri olmuşdur. Cücərtilərin funksional vəziyyəti Xl a msan LF induksiyasının ölçülməsilə qiymətləndirilib. Xl a msan LF-in kinetika həyəcənlandırma anı arasında olan interval və $1,25\text{ms}$ işıq saçmanı ölçən fosforoskop cihazı ilə ölçülüb [Goltsev et al., 2009]. Yarpaq kəsikləri xüsusi tutacağa yerləşdirilib. Elektroforetik piklər 10%-li PAGE elektroforez üsulu ilə alınmışdır. Ölçülər üç təkrarda aparılmışdır.

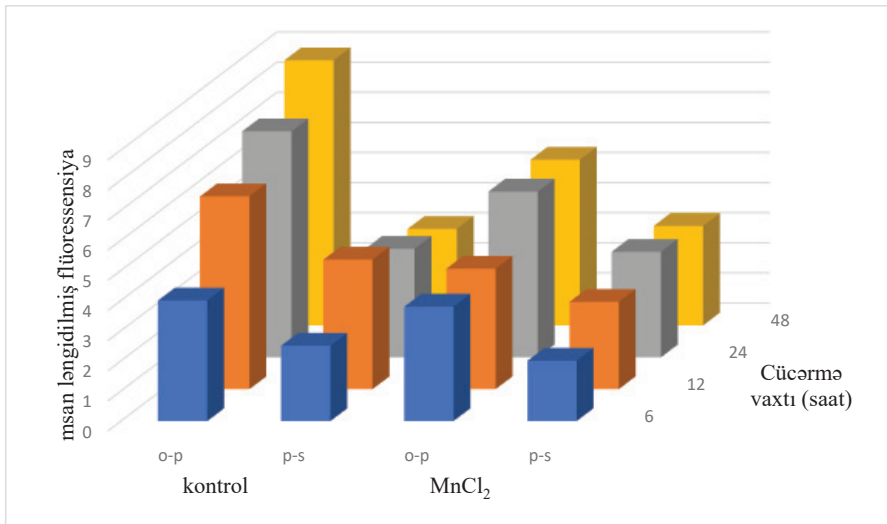
NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ

Msan LF dəyişkən xarakterli induksion ayrıları göstərdi ki, flüoressensiya komponentlərinin formalaşma asılılığı Mn ionunun təsirindən asılıdır. Bu zaman amplitudanın və maksimumların eninə

genişlənməsi həm ilkin akseptor elektronun reduksiyası ilə bağlı olan tez komponentin [Gas-anov et al., 2007], həm də FS2-in donor tərəfinin aktivliyi ilə əlaqəli ləng komponentin və elektron nəqliyyat zəncirində (ENZ) elektronların nəqliyyat stabilliyi dəyişkənliyi baş verir. Mn ionunun təsiri zamanı 6 saata qədər cücərtilərin yaşıllaşmasında LF tez və ləng komponentlərinin intensivliyi kontrol nümunədən mahiyyətə fərqlənir. Halbuki, 12 saat buğda cücərtilərinin yaşıllaşmasında Mn ionunun təsiri kontrola nisbətən msan LF tez komponentlərinin intensivliyinin 1,6 dəfə, 48 saat müddətində isə artıq 2 dəfə azalması ilə müşahidə olunur (Şək.1).

cücərtilərin yaşıllaşmasının fizioloji vəziyyəti tez fazanın ləng fazaya olan nisbət dəyişkənliyi üzrə qiymətləndirilməsi daha vizualdır (Şək. 2).

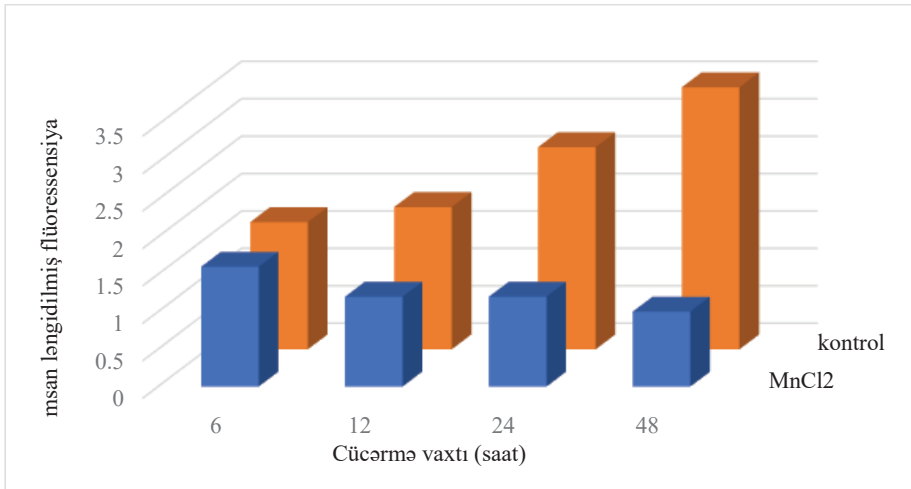
Etiolə olunmuş cücərtilərin ilk yaşıllaşma saatlarında ləng komponentlərin intensivliyinin azalması, həmçinin xlorofilin sintezinin pozulması ilə əlaqəlidir. Sonrakı 24 və 48 saat yaşıllaşmadan sonra əhəmiyyətli dərəcədə ləng komponentlərin intensivliyinin artması müşahidə olunur. Görünür, RM FS II-nin həyəcanlanmış xlorofilinin rekombinasiyasının artımı TyrZ ilə əlaqəlidir. Ehtimal olunur ki, bu turş mühitdən asılıdır. 6 saat yaşıllaşma müddətində kontrol ilə müqayisədə tez komponentin ləng komponentə



Şəkil 1. Biogenezi prosesi zamanı Mn^{2+} ionlarının buğda cücərti yarpaqlarında (*Triticum aestivum* L.) msan LF-nin tez və ləng komponentlərinin formalaşmasına təsiri

12 və 48 saatdan sonra etilə olunmuş cücərtilərin yaşıllaşma prosesində xloroplastların formalaşmasına əsasən FS II-nin tez komponentinin 1,6 və 2 dəfə kəskin azalması, müvafiq olaraq FS II-nin mərkəzlərinin bloklanmasını göstərir. Yəqin ki, bu Mn ionlarının təsiri nəticəsində FS II-yə daxil olan xlorofilin biosintez prosesi və bilavasitə FS II yaxın ətraf RM ilə əlaqəlidir. Mn^{2+} iştirakı ilə etiolə olunmuş buğda cücərtilərinin 12 saat yaşıllaşmadan sonra msan LF-nin ləng komponentlərinin intensivliyi 1,3 dəfə azalır ki, sonrakı yaşıllaşma zamanı komponentlərin intensivliyi kontrola nisbətən artır. Mn^{2+} ionlarının təsiri zamanı

olan nisbətənin dəyişkənliyi müşahidə olunmur. Halbuki, 12, 24, 48 saat yaşıllaşma müddətində tez komponentin ləng komponentə olan nisbəti azalır. Tez komponentin ləng komponentə olan nisbətənin azalması göstərir ki, Mn ionları RM FS II arasında sinxron qarşılıqlı əlaqəni və FS II hüduunda elektron nəqliyyat zəncirində elektronların daşınmasını pozur. Bizim nəticələri cəmləyərək belə fikrə gəlmək olar ki, turş mühit şəraitində tilakoid membranının quruluşu və formalaşması Mn ionunun təsirinə çox həssas və meyillidir. Mn ionlarının xlorofil biosintezinin fotokimyəvi mərkəzlərinin zədələnməsini msan LF-nin kinetik əyrlərinin xarakteri təsdiqləyir.



Şəkil 2. Biogenez prosesi zamanı Mn^{2+} ionlarının buğda cücərti yarpaqlarında mısn LF-nın tez komponentinin lęng komponentə olan nisbəti

Lakin XI a-nın akkumulyasiyasının intensivliyi dövründə tez və lęng komponentlərin nisbətinin dəyişkənliyi və tilakoid membranının qranal strukturunun formalaşması zamanı Mn ionlarının zədələdiyi yer məhz FS II-nin donor tərəfi, həmçinin elektron və proton nəqlidir [Ganiyeva et. al., 2012]. Mn ionlarının təsiri nəticəsində xlorofil-zülal komplekslərinin dəyişkənlikləri kontrola nisbətən məhz 12 saat yaşıllaşmada işıq-toplayan kompleksin pikinin intensivliyi 2 dəfə azalır. Bu nəticələr bütün işıqtoplayan kompleksin vəziyyətində təsdiqini tapır. Demək olar ki,

elektroforeqramda xlorofil-zülal komplekslərinin işıq toplayan piklərinin intensivliyinin azalması, membranda xlorofilin miqdarının kifayət qədər formalaşmaması, pigment-pigment və ya pigment-zülal əlaqələrinin pozulmasıdır. Mümkündür ki, xlorofillə qarşılıqlı əlaqə üçün nəzərdə tutulmuş zülallar öz konfigurasiyasını dəyişdirir ki, bu da xlorofil pulunun və reaksiya mərkəzinin (RM) optimizasiya nisbətini, qran əmələ gəlmə prosesini pozur [Kurbanova et al., 2009, Kurbanova et. al., 2006].

ƏDƏBİYYAT

- Ganiyeva R.A., Bayramova S.A., Jafarova J.R., Gasanov R.A. (2012) Effect of Zn^{2+} and Ni^{2+} ions on the development of photosystem II (PS II) during greening of wheat seedlings. IV Congress of Biophysicists of Russia, August 20-26, Nizhny Novgorod, Symposium III "Physics-Medicine and Ecology", p. 50. [Ганиева Р.А., Байрамова С.А., Джафарова Д.Р., Гасанов Р.А. (2012) Действие ионов Zn^{2+} и Ni^{2+} на развитие фотосистемы II (ФС II) в процессе зеленения проростков пшеницы. IV съезд биофизиков России, 20-26 августа, Нижний Новгород, Симпозиум III «Физика-медицина и экология», с. 50].
- Gasanov R., Aliyeva S., Arao S., Ismailova

- A., Katsuta N., Kitade H., Yamada Sh., Kawamori A., Mamedov F. (2007) Comparative study of the water oxidizing reactions and the Millisecond delayed chlorophyll fluorescence in photosystem II at different pH. J. of Photochem. Photobiol. B: Biology. 86(2): 160-164.
- Goltsev V., Zaharieva I., Chernev P., Strasser R.J. (2009) Delayed chlorophyll fluorescence as a monitor for physiological state of photosynthetic apparatus. Biotechnol. Equip. 23: 452-457.
- Kitao M., Lei T.T., Koike T. (1997) Effect of manganese toxicity on photosynthesis of white birch (*Betula platyphylla* var. *japonica*) seedlings. Physiol Plant. 101(2): 249-256
- Kurbanova I.M., Ganiyeva R.A., Bayramova

- S.A., Dadashova S.B., Gasanov R.A. (2009) Effect of Mn^{2+} and Al^{3+} at low pH on PS 2 chlorophyll-protein complexes state and fluorescence characteristics of wheat seedlings. Transactions of Institute of Botany Azerbaijan National Academy of Sciences. XXIX: 602-608.
- Kurbanova I.M., Ganiyeva R.A., Bayramova S.A., Dadashova S.B., Gasanov R.A. (2006) State of thylakoid membranes under extreme impacts and its stabilization. Transactions of Institute of Botany Azerbaijan National Academy of Sciences. XXVI: 384-388. [Курбанова И.М., Ганиева Р.А., Байрамова С.А., Дадашова С.Б., Гасанов Р.А. (2006) Состояние тилакоидных мембран при экстремальных воздействиях и ее стабилизация. Труды Института Ботаники Национальной Академии Наук Азербайджана. XXVI: 384-388.].
- Lidon F.C., Teixeira M.G. (2000) Oxyradicals production and control in the chloroplast of Mn-treated rice. Plan Science. 152(1): 7-15.
- Lovyagina E.R., Davletshina L.N., Semin B.K. (2022) Peculiarities of Mn (II) cation oxidation in membrane preparations of photosystem II without oxygen-evolving complex. Evolutionary aspect. Bulletin of Moscow University, Series 16. Biology. 77(2): 98-103. [Ловягина Е.Р., Давлетшина Л.Н., Семин Б.К. (2022) Особенности окисления катионов Mn(II) в мембранных препаратах фотосистемы 2 без кислород-выделяющего комплекса. Эволюционный аспект. Вестник Московского Университета, Серия 16. Биология. 77(2): 98-103.].
- Nable R.O., Houtz R.L., Cheniae G.M. (1988) Early inhibition of photosynthesis during development of Mn toxicity in tobacco. Plant Physiol. 86(4): 1136-1142.
- Papadakis I.E., Giannakoula A., Therios I.N., Bosabalidis A.M., Moustakas M., Nastou A. (2007) Mn-induced changes in leaf structure and chloroplast ultrastructure of *Citrus volkameriana* (L.) plants. J. Plant Physiol. 164(1): 100-103.
- Stefanov D., Milanov G., Lambrev P.H., Kurtova M., Abumhadi N., Goltsev V., Kapchina V. (2018) Delayed fluorescence measurements show increased S2Q-b charge recombination in PS2 of tobacco pigment-deficient aurea mutant. C. R. Acad. Bulg. Sci., 71(8): 1052-1061.
- Sumner M.E., Fey M.V., Noble A.D. (1991) Nutrient status and toxicity problems in acids oils. In: Ulrich B., Sumner M.E. (eds) Soil Acidity Springer, Berlin, Heidelberg: 149-182.

Эффект Mn^{2+} на формирование фотосинтетического аппарата при низком pH среды

А.С. Гусейнзаде¹, С.Б. Дадашева²,
Р.А. Ганиева²

¹Гянджинский Государственный Университет, проспект Гейдара Алиева 159, AZ2000, Гянджа, Азербайджан

²Институт Ботаники, Министерство Науки и Образования, Бадамдарское шоссе 40, AZ1004, Баку, Азербайджан

Исследованы индукционные кривые мсек замедленной флуоресценции Хл а (мсек ЗФ Хл а) и хлорофилл-белковые комплексы (ПААГ- электрофорез в полиакриламидном геле) в листьях проростков пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в процессе биогенеза при действии $MnCl_2$. Изменения максимумов быстрой и медленной компоненты мсек-замедленной флуоресценции, а также их соотношения дают основание полагать, что токсическое действие ионов Mn^{2+} с одной стороны приводит к повреждению биосинтеза хлорофилла, с другой к замедлению формирования фотохимических реакций, вызывающих замедленную флуоресценцию. Вероятно, это происходит в результате нарушения взаимодействия между реакционным центром (PQ) фотосистемы II (ФСII), градиентом протонов и стабильностью переноса электрона в электрон-транспортной цепи (ЭТЦ). Уменьшение по интенсивности светособирающих пиков хлорофилл-белковых

комплексов на электрофореграмме говорят о том, что блокируется формирование хлорофилла или разрушается связи пигмент-пигмент или пигмент-белок.

Ключевые слова: электрон-транспортная цепь, ФС II, тяжелый металл, биогенез, хлорофилл-белковый комплекс

Effect of Mn^{2+} on formation of photosynthetic apparatus at low pH

A.S. Guseynzade¹, S.B. Dadasheva²,
R.A. Ganiyeva²

¹Ganja State University, Heydar Aliyev Avenue 159, AZ2000, Ganja, Azerbaijan

²Institute of Botany, Ministry of Science and Education, Badamdar highway 40, AZ1004, Baku, Azerbaijan

Induction curves of ms delayed fluorescence of Chl a (ms DF Chl a) and chlorophyll-protein complexes (PAGE-polyacrylamide gel electro-

phoresis) in leaves of wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.) during biogenesis under the influence of $MnCl_2$ were studied. Changes in the maxima of the fast and slow components of msec-delayed fluorescence, as well as their ratio, give reason to believe that the toxic effect of Mn^{2+} ions, on the one hand, leads to damage to chlorophyll biosynthesis, and on the other, to a slowdown in the formation of photochemical reactions causing delayed fluorescence. This probably occurs as a result of disruption of the interaction between the reaction center (RC) of photosystem II (PSII), the proton gradient and the stability of electron transfer in the electron transport chain (ETC). A decrease in the intensity of the light-harvesting peaks of chlorophyll-protein complexes on the electropherogram indicates that the formation of chlorophyll is blocked or the pigment-pigment or pigment-protein bonds are destroyed.

Keywords: electron transport chain, PS II, heavy metal, biogenesis, chlorophyll-protein complex