

Nanohissəciklərin Bitki Hüceyrələrinin Plazmatik Membranında Elektrogen İon Nasoslarının Fəallığına Təsiri

İ.S. Əhmədov*, V.N. Ramazanlı, N.C. Ağayeva, M.Ə. Ramazanov

Bakı Dövlət Universiteti, akademik Z.Xəlilov küçəsi, 23, Bakı AZ1148, Azərbaycan;

*E-mail: ismetahmadov@mail.ru

Təqdim olunan araşdırmalarda nanohissəciklərin bitki hüceyrələri ilə qarşılıqlı təsiri zamanı plazmatik membranda H^+ -ATFaza və redoks elektrogen ion nasoslarının fəaliyyətinin dəyişmə kinetikasına baxılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, nanohissəciklər növündən, konsentrasiyasından və ekspozisiya müddətindən asılı plazmatik membranın elektrik parametrlərini dəyişir. 21 nm ZrO_2 və $Al+Ni$ nanohissəcikləri MP daha çox depolyarizasiya edir və əsasən H^+ -ATFaza elektrogen proton pompanının fəaliyyətinə təsir edir. Nanohissəciklər redoks tipli proton pompaya ciddi təsir etmir.

Açar sözlər: Nanohissəciklər, plazmatik membran, membran potensialı, membran müqaviməti, ion nasosları, H^+ -ATFaza, redoks sitem

GİRİŞ

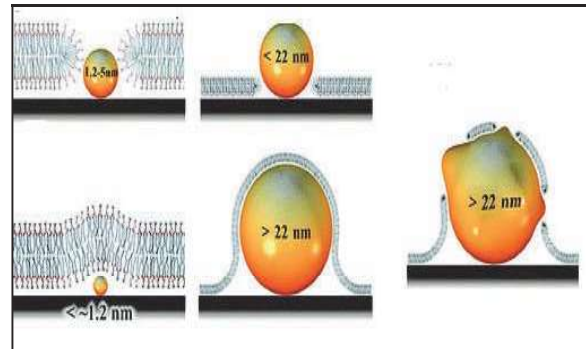
Nanohissəciklərin canlı sistemlərlə qarşılıqlı təsirinə öyrənilməsində bitkilərlə aparılan təcrübələr mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Nanohissəciklərin bitkilərə təsirini, onların toksikliyini müəyyən etmək üçün ilk növbədə onların bitkilər tərəfindən mənimsənilməsi mexanizmini, onların orqanlarında hərəkətini, hüceyrələrdə və toxumalarda toplanmasını araşdırmaq tələb olunur. Son illərin tədqiqatları göstərir ki, nanohissəciklər bitki hüceyrələrinə iki yolla daxil ola bilər. Ölçüləri 5 nm-dən az olan nanohissəciklər hüceyrə membranını birbaşa, bundan böyük olanlar isə endositoz yolu ilə keçirlər (Jaspreet and Vinod, 2008).

Odur ki, nanohissəciklərin plazmatik membranla qarşılıqlı təsiri zamanı onun struktur və funksiyasında müəyyən dəyişikliklər yarana bilər. Amerikalı alimlər müəyyən etmişlər ki, ölçüləri 1-22 nm tərtibində olan sferik və hamar nanohissəciklər ikiqat lipid təbəqəsindən ibarət membranın inteqrallığını saxlamaq şərti ilə dəşik əmələ gətirir və membranı keçə bilər (Şəkil 1). Lakin sferik, amma səthi kələkötür olan nanohissəciklər lipid membranının inteqrallığını pozur və membran dağılır (Roiter et al., 2008). Həssas elektrofizioloji üsuldən istifadə edərək müəyyən etmişlər ki, femtomol konsentrasiyada bütün növ sferik silisium nanohissəcikləri ikiqat lipid membranını keçə bilər.

Nanohissəciklərin konsentrasiyası artdıqca ikiqat lipid təbəqənin stabilliyi azalır və plazmatik membran zədələnir (Maurits and Planque et al., 2011). Səth yükləri müxtəlif olan Au nanohissəciklərinin insanın nəfəs yollarının əzələ hüceyrəsində və yumurtalığın xərçəng hüceyrələrində (CP70 və A2780) membran potensialını, konsentrasiya və ekspozisiya müddətindən asılı olaraq depolyarizasiya

siya etdiyini müşahidə etmişlər. Bu depolyarizasiyanın miqdarı 40 mM KCl məhlulunun yaratdığı depolyarizasiya ilə müqayisə oluna bilər (Arvizio et al., 2010).

Ölçüləri 13 və 22 nm tərtibində olan Al_2O_3 nanohissəciklərinin insanın bronxial alveol xərçəng hüceyrələrində (A549) yaratdığı toksik effektlər 20 nm CeO_2 və 40 nm TiO_2 nanohissəciklərin toksik effektləri ilə müqayisə edilərkən müəyyən edilmişdir ki, nanohissəciklər membran potensialını depolyarizasiya edir. Depolyarizasiyanın miqdarı nanohissəciklərin ölçüsündən asılı olmuşdur. 13 nm tərtibində olan Al_2O_3 nanohissəciklərinin yaratdığı depolyarizasiya 30 nm tərtibində olan nanohissəciklərin yaratdığı depolyarizasiyadan çox olmuşdur. Ən çox depolyarizasiya CeO_2 nanohissəciklərinin təsiri zamanı müşahidə edilmişdir (Lin et al., 2008).



Şəkil 1. 1- α -dimyristoyl fosfatidyleholine ikiqat lipid membranı ilə nanohissəciklərin qarşılıqlı təsiri zamanı lipid membranının strukturunda əmələ gələn dəyişikliklər (Roiter et al., 2008).

Nanohissəciklərin hüceyrə membranları ilə qarşılıqlı təsirinə həsr olunmuş elmi ədəbiyyatın icmalından aydın olur ki, ölçülərindən, səth yükün-

dən, forma və tipindən asılı olaraq nanohissəciklər müxtəlif membran effektləri yarada bilirlər. Onlar bioloji membranların iqiqat lipid təbəqəsində məsamələr əmələ gətirir, onu dağıda bilir, birbaşa keçə bilir, membran potensialını depolyarizasiya edir və s. Hüceyrələrdə nanohissəciklərin yaratdığı toksik effektlərin əksəriyyəti məhz bioloji membranlarda əmələ gələn struktur və funksional dəyişikliklərin nəticəsində olur. Odur ki, istənilən toksik amilin effekti bioloji membranlarda əmələ gələn zədələnmələrin nəticəsində olur.

MATERIAL VƏ METODLAR

Tədqiqat obyektləri olaraq elektrofizioloji təcrübələrdə geniş tətbiq edilən Hydrocharitaceae fəsiləsindən olan ali su bitkiləri *Elodea Canadensis* yarpaqlarından, və *Trianea bogotensis* bitkisinin kök hüceyrələrindən istifadə edilmişdir. Təcrübələrdə istifadə edilən nanohissəciklərin dispers məhlulu (pH=7) tərkibi 10^{-3} M NaCl, 10^{-4} M KCl, 10^{-4} M CaCl₂ olan süni göl suyunda (İPV) hazırlanmışdır.

Təcrübələrdə Fe₂O₃ (8 nm), TiO₂ (10 nm), ZnO (30 nm), CuO (40 nm), Al, Al+Ni (100 nm) və ZrO₂ (21, 42 və 100 nm) nanohissəciklərindən istifadə edilmişdir.

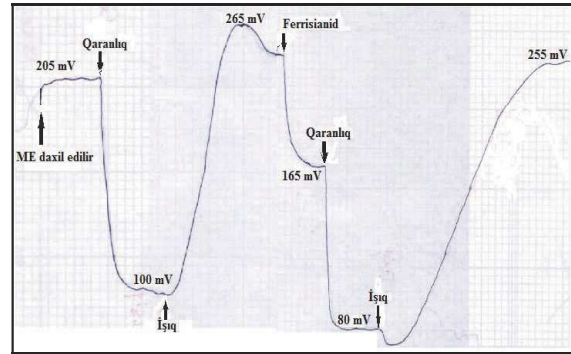
Plazmatik membranın elektrik parametrləri – membran potensialı (MP) və membran müqaviməti (MM) mikroelektrodlar üsulu ilə ölçülmüşdür.

NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ

Mikroelektrodlarla aparılan ölçmələrin nəticələri göstərir ki, elodea hüceyrələrində MP-nın işıqda qiyməti 200-300 mV, trianeanın kök hüceyrələrində isə 100-180 mV intervalında olur. Bitki hüceyrələrində mikroelektrodlarla ölçülən MP qiyməti Nernst və Qoldman tənliklərinə görə nəzəri hesablanan qiymətdən (110-130 mV) xeyli çox olur və bu da onu göstərir ki, MP-nın generasiyasında aktiv ion daşınmasının rolu xeyli böyükdür.

İlkin təcrübələrdə Elodeanın yarpaq hüceyrələrində işıq-qaranlıq keçidləri və Ferrisianidin (Fe(CN)₆) təsiri zamanı MP-nın dəyişmə kinetika-na baxılmışdır. Bunun üçün mikroskop altında mikroelektrod elodea hüceyrəsinə daxil edildikdən 5 dəqiqə sonra, MP stabil qiymətində işıq söndürülmüş və 10 dəqiqədən sonra yenidən yandırılmışdır. Bu zaman MP depolyarizasiya olunaraq 205 mV-dan 100 mV qədər azalmışdır. Sonra işıq yandırıldıqda yenidən hiperpolarizasiya olunaraq 265 mV qiymətini almışdır. Işıq rejimində İPV+ $5 \cdot 10^{-4}$ M ferrisianidin təsiri zamanı 90 mV depolyarizasiya müşahidə edilmişdir. Təcrübələrin nəticələri Şəkil 2-də verilmişdir. Bu təcrübələrdə əsas məqsəd MP-nın

generasiyasında iştirak edən H⁺-ATFaza və redox elektrogen pompalarının normal şəraitdə fəallığını yoxlamaq olmuşdur.

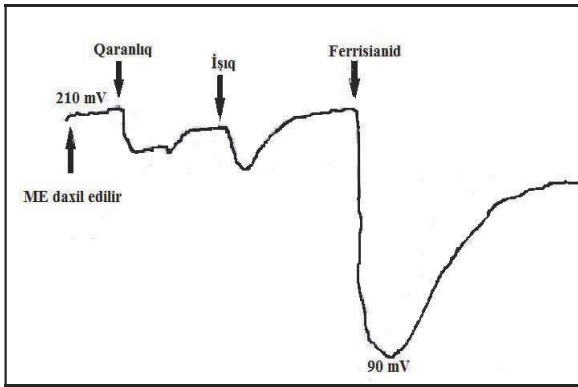


Şəkil 2. Elodea hüceyrələrində MP-nın işıq-qaranlıq keçidlərində və Ferrisianidin təsiri zamanı dəyişmə kinetika-sı.

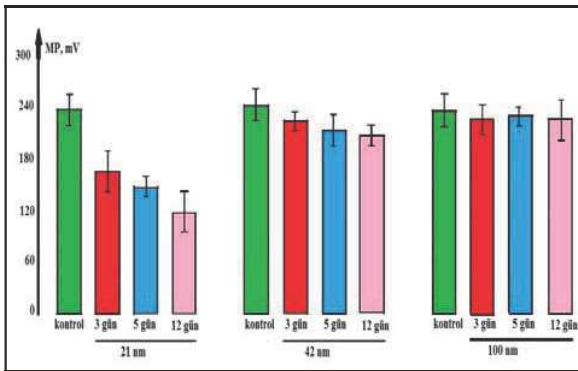
Sonrakı təcrübədə nanohissəciklərin qısamüddətli təsirinə (5-10 dəq) baxılmışdır. Təcrübələr göstərmişdir ki, bir neçə dəqiqə ərzində təsir zamanı nanohissəciklər MP və MM təsir etmir. Ədəbiyyat məlumatlarından aydın olduğu kimi nanohissəciklər plazmatik membranı endositoz yolu ilə keçərək hüceyrəyə daxil ola bilirlər. Odur ki, nanohissəciklərin təsirini öyrənmək üçün elodea yarpaqları və trianeanın kökləri (gövdədən ayrılmadan) 3; 5; 7 və 10 gün nanohissəciklər daxili edilmiş İPV məhlulunda saxlanılmışdır.

Əvvəlcə ZrO₂ nanohissəciyinin ölçülərindən, qatılığından və ekspozisiya müddətindən asılı olaraq plazmatik membranın elektrik parametrlərinin dəyişmə kinetika-sı öyrənilmişdir. Şəkil 3-də ölçüləri 21 nm olan ZrO₂ nanohissəciyinin suspensiyalı məhlulunda 3 gün adi işıqda saxlanmış elodea yarpaqlarında qaranlıq-ışıq keçidlərində və ferrisianidin təsirindən MP dəyişmə kinetika-sı göstərilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi ZrO₂ nanohissəcikləri elodea hüceyrələrində MP elə də ciddi təsir etməmişdir. Lakin qaranlıq-ışıq keçidləri zamanı normal yarpaqlarda müşahidə edilən depolyarizasiya və hiperpolarizasiya ciddi dəyişikliyə uğramışdır. Ferrisianidin təsiri normal hüceyrələrdə olduğu kimi olmuşdur. Şəkil 4-də ZrO₂ nanohissəciklərin ölçülərindən və ekspozisiya müddətindən asılı olaraq MP dəyişməsinə göstərən təcrübələrin nəticələri verilmişdir. Elodea yarpaqları müxtəlif ölçülü nanohissəciklərdə 3, 5, 12 gün saxlanmışdır. Şəkil 4-dən görüldüyü kimi MP-nın qiymətinin dəyişməsi ən çox ölçüləri 21 nm olan nanohissəciklərdə müşahidə olunur. Təcrübələrdə digər nanohissəciklərin Fe₃O₄, Al, Al+Ni elodea yarpaqlarında MP-nın qiymətinə təsiri də öyrənilmişdir. Elodea yarpaqlarını uzun müddət 20 gün Al və Al+Ni, Fe₃O₄ nanohissəciklərinin məhlulunda saxladıqdan sonra qaranlıq-

ışıq keçidlərində MP dəyişməsi öyrənilmişdir. Nəticələr göstəmişdir ki, nanohissəciklərin təsiri yarpaqların ışıqda və ya qaranlıqda qalmasından, ekspozisiya müddətindən asılı olur. 0,1 mq/ml dozada İPV-də həll edilmiş Fe_3O_4 nanohissəciklərinin qısamüddətli təsiri zamanı hüceyrələrdə elə bir dəyişiklik müşahidə edilmir, MP qiyməti dəyişmir. Maraqlı nəticələr Fe_3O_4 nanohissəciklərinin uzunmüddətli təsiri zamanı müşahidə edilmişdir. Məlum olmuşdur ki, Fe_3O_4 nanohissəciklərinin uzunmüddətli təsiri ışıq qaranlıq rejimindən asılıdır. ışıqda Fe_3O_4 nanohissəciklərində saxlanmış elodea yarpaqları daha tez nativliyini itirir, hüceyrələrdə metabolizm dayanır və yarpaqlar saralır. Lakin yarpaqlar qaranlıqda Fe_3O_4 nanohissəciklərində saxlandıqda 20 gün ərzində öz nativliyini saxlayır. Hüceyrələrdə protoplazmanın hərəkəti stabil qalır.



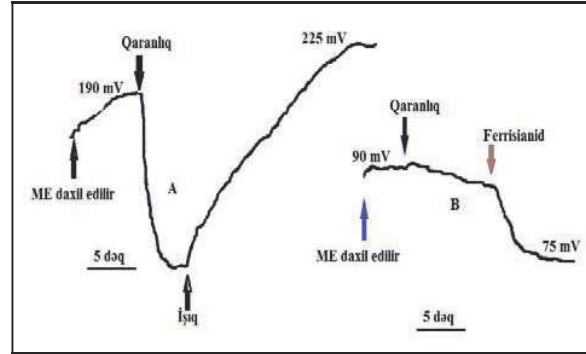
Şəkil 3. Üç gün ölçüləri 21 nm olan ZrO_2 nanohissəciklərinin məhlulunda saxlanmış Elodea yarpaqlarında MP dəyişmə kinetikasi.



Şəkil 4. ZrO_2 nanohissəciklərinin ölçülərindən və ekspozisiya müddətindən asılı olaraq elodea yarpaqlarında MP-nin dəyişməsi.

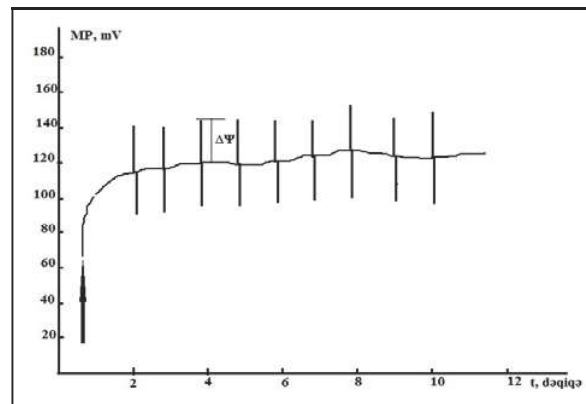
Şəkil 5-də 20 gün Fe_3O_4 nanohissəciklərinin məhlulunda ışıqda (A) və qaranlıqda (B) saxlanmış elodea yarpaqlarında qaranlıq-ışıq keçidləri zamanı və ferrisianidin təsirdən MP dəyişmə kinetikasi verilmişdir. Bu təcrübələrin nəticəsi göstərmişdir ki, Fe_3O_4 nanohissəciklərinin məhlulunda qaranlıqda

saxlanmış yarpaqlarda MP qiyməti yarpaqları ışıqlandıran zaman 190-200 mV intervalında olur. MP-nin bu qiyməti normal yarpaqlardan çox da fərqlənmir. Işıq-qaranlıq keçidi zamanı MP depolyarizasiya olunur və onun qiyməti 100 mV tərtibində olur və yarpaqlar ışıqlandırıldıqdan sonra yenidən hiperpolarizasiya olunaraq 225 mV qədər yüksəlir.



Şəkil 5. 20 gün Fe_3O_4 nanohissəciklərinin məhlulunda ışıqda (A) və qaranlıqda (B) saxlanmış elodea yarpaqlarında MP dəyişmə kinetikasi verilmişdir.

Eyni təcrübələr ışıqda saxlanmış yarpaqlarla da aparılmışdır. Məlum olmuşdur ki, ışıqda Fe_3O_4 nanohissəciklərinin məhlulunda qalmış elodea yarpaqlarında MP-nin aktiv hissəsi tamamilə itmiş, onun yalnız passiv hissəsi qalmışdır. MP qiyməti 80-110 mV intervalında olmuşdur. Hüceyrələrin əksəriyyətində ışıq – qaranlıq keçidi zamanı MP-nin cüzi depolyarizasiyası müşahidə edilmişdir. Bəzi hüceyrələrdə isə bu reaksiya tamamilə itmişdir. Lakin ferrisianid reaksiyası müşahidə edilmişdir (Şəkil 5, B).



Şəkil 6. *Trianea* kök hüceyrələrində MP və membran müqavimətinin dəyişmə kinetikasi.

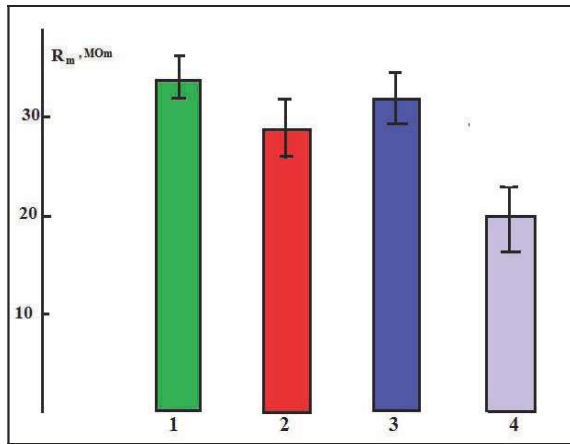
Təcrübələrdə Fe_3O_4 , Al, Al+Ni nanohissəciklərinin MM təsiri də öyrənilmişdir. *Trianea*nın trixoblast hüceyrələrinin ölçüləri böyük olduğundan onları zədələmədən iki mikroelektrod daxil etməklə eyni zamanda həm MP və həm də plazmatik membranın elektrik müqavimətini ölçmək olur. Bunun

üçün hüceyrəyə iki mikroelektrod daxil edilir. Mikroelektrodlardan biri MP qiymətini ölçür, ikinci mikroelektrod vasitəsilə sabit cərəyan impulsu verilir. Hüceyrəyə daxil edilən sabit cərəyanın miqdarı çox kiçik olur – 10^{-9} A. Bu zaman MP sürüşməsi qeyd edilir. Cərəyan həm müsbət və həm də mənfi istiqamətdə impuls şəkilində verilir. İmpulsun davam etmə müddəti 3-5 san olur. Membran müqaviməti Om qanuna görə

$$R = \Delta\Psi/I$$

düsturu ilə hesablanır. Burada $\Delta\Psi$ membran potensialının cərəyan daxil edilən zaman sürüşməsi, I isə sabit cərəyanın miqdarıdır (Şəkil 6).

Nanohissəciklərin MM təsirini öyrənmək üçün Trianea bitkisi nanohissəciklərin İPV-də hazırlanmış məhlullarında 24 saat və daha çox müddətdə saxlanmışdır. Müşahidələr göstərmişdir ki, trianea bitkisinin kökünü inkişafına nanohissəciklər təsir etmir. Lakin uzun müddət qaldıqda Al+Ni nanohissəcik kompozitinin məhlulunda köklərin inkişafı, hüceyrələrin bölünməsi ləngiyir. MM qiyməti əsasən Al və Ni nanohissəciklərində azalır. Təcrübələrin nəticələri şəkil 7-də göstərilmişdir.



Şəkil 7. Nanohissəciklərdə 24 saat saxlanmış Trianeanın kök hüceyrələrində membran müqavimətinin dəyişməsi: 1 –kontrol; 2- Fe₃O₄; 3- Al; 4-Al+Ni.

Nanohissəciklərin fiziki və kimyəvi bir amil kimi bitki hüceyrələrində plazmatik membranın strukturuna və funksiyasına təsir mexanizminin araşdırılması bir tərəfdən onların toksik xüsusiyyətlərini müəyyən etməyə, digər tərəfdən isə nanohissəciklərlə qarşılıqlı təsir zamanı plazmatik membranda əmələ gələn dəyişikliklərin təbiətini aydınlaşdırmağa imkan verir. Hüceyrənin MP onun fizioloji vəziyyətinin inteqral göstəricisidir və hüceyrə metabolizmindən asılıdır. Bitki hüceyrələrində membran potensialı həm aktiv ion nasosları və həm də passiv diffuziya kanallarının fəaliyyəti nəticəsində generasiya edilir. Aktiv ion nasoslarının fəaliyyəti hüceyrədə metabolizmin səviyyəsindən asılıdır və onun dəyişməsi bir sıra fundamental proseslərin (fotosintez, tənəffüs və s.)

pozulması nəticəsində baş verir. Odur ki, hüceyrədə bu və ya digər amilin təsiri ilə MP kinetikasının öyrənilməsi plazmatik membranda olan aktiv ion nasoslarının funksiyası haqqında məlumat verir. Yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi bitki hüceyrələrində paralel olaraq iki tip aktiv proton nasosu fəaliyyət göstərir. Bunlardan biri H-ATFaza proton kompleksi, ikincisi isə qısa elektron zənciridir (redoks sistem). Nanohissəciklər hər iki proton nasosunun fəaliyyətinə təsir edə bilər. Bir sıra təcrübələrin nəticələri göstərir ki, nanohissəciklər sərbəst radikallar əmələ gətirir, hüceyrə membranlarında lipidləri oksidləşdirir, onun strukturunu və funksiyasını dəyişdirir, hüceyrə daxilində sorularaq mühüm proseslərə, o cümlədən fotosintez, tənəffüs, zülal sintezi, transport, genlərin ekspresiyası kimi mühüm hüceyrədaxili proseslərə təsir edir. Nanohissəciklərin hüceyrə səviyyəsində təsirinin öyrənilməsində ən maraqlı sahə onların plazmatik membranla qarşılıqlı təsirinin təbiətinin aydınlaşdırılmasına həsr olunan təcrübələrdir.

Nanohissəciklərin bitki hüceyrələrinə daxil olması zamanı onların plazmatik membranla qarşılıqlı təsiri zamanı üç mexanizm təklif olunur. I mexanizm: nanohissəciklər plazmatik membranı keçə bilmir, onun səthində toplanır. Plazmatik membranın səthində toplanan nanohissəciklər onun strukturunda elə də ciddi dəyişiklik yarada bilməsə də funksiyasına ciddi təsir edə bilər. Nanohissəciklərin səthi çox aktiv olur, onlar elektron mübadiləsi edə bilər, sərbəst radikallar əmələ gətirir, membranın səth yüklərini dəyişə bilər. Odur ki, nanohissəciklər, xüsusilə metal nanohissəcikləri plazmatik membranda ion daşınmasına cavabdeh olan passiv və aktiv kanalların funksiyasında dəyişikliklər yarada bilər. Nanohissəciklərin MP və MM təsirinin öyrənilməsindən aydın olur ki, götürülmüş nanohissəciklərin bəziləri (Fe₃O₄, Al və Al+Ni, ZrO₂) membranı keçə bilər, bəziləri isə keçə bilmir. I mexanizmə görə nanohissəciklər plazmatik membranı keçə bilmədikdə onun səthində oturaraq redoks sistemlə elektron mübadiləsi edə bilər. Nanohissəciklərin bu xüsusiyyəti imkan verir ki, onlar plazmatik membranda olan redoks proton pompasının fəaliyyətini dəyişdirsin. Al+Ni nanokompozitinin MP depolyarizasiya etməsi onu göstərir ki, o redoks sistemdən elektronları alır və onun fəaliyyətini dayandırır. II mexanizm nanohissəciklərin plazmatik membranda məsələlər əmələ gətirməklə və zülal tərkibli kanallardan keçməsidir. Bu zaman nanohissəciklər bir başa iqiqat lipid təbəqəsini dağıdaraq keçə bilər və ya zülal molekulları ilə birləşərək iqiqat lipid təbəqəsini keçə bilər. Nanohissəciklərin zülallarla örtülərək membranı keçməsi xüsusiyyətdən istifadə edərək onların plazmatik membranı asanlıqla keçməsi üçün onları spesifik zülallarla örtürlər. Belə nanohissəciklər membranı asanlaşmış daşınma prosesi

mexanizmi ilə keçirlər. Nanohissəciklər membranı keçərkən aktiv və passiv ion kanallarının funksiyasını dəyişə bilər. ZrO_2 nanohissəcikləri ilə olan təcrübələrdə onların ölçülərindən asılı olaraq MP dəyişmə kinetikasında müxtəlif nəticələr alınmışdır. 21 nm ölçülü ZrO_2 nanohissəciklərində saxlanmış yarpaqlarda qaranlıq-ışığı-qaranlıq keçidlərində MP dəyişmə kinetikasi xeyli dəyişikliyə uğrayır. Normal hüceyrələrdən fərqli olaraq ZrO_2 nanohissəciklərində saxlanan hüceyrələrdə işıqla inuksiya olunmuş MP yox olur. Lakin ferrisianidin təsiri normal hüceyrələrdə olduğu kimi qalır (Şəkil 3,5). 42 nm ZrO_2 nanohissəciklərində saxlanmış yarpaqlarda isə işıqla induksiya olunmuş MP normal hüceyrələrdə olduğu kimidir. Bu təcrübənin nəticəsinə əsasən demək olar ki, 21 nm ZrO_2 nanohissəcikləri plazmatik membranı ikinci mexanizm ilə keçir. Bu zaman zülal təbiətli ion kanallarında, xüsusilə passiv kanallarda ciddi dəyişiklik törədir. Ola bilsin ki, H-ATFaza kompleksini də zədələyir. Ferrisianidin təsiri zamanı MP güclü depolyarizasiyası isə redoks sistemin zədələnmədiyini göstərir. 100 nm ölçülü nanohissəciklər isə bu halda çox ehtimal ki, plazmatik membranın səthində toplanaraq ona mexaniki təsir etmişdir. Belə ki, həm işıq-qaranlıq və həm də ferrisianidin təsiri zamanı qeyri-müəyyən dəyişikliklər müşahidə edilmişdir (Şəkil 3, 4, 5).

Maraqlı təcrübələrdən biri də dəmir nanohissəciklərilə olan təcrübələrdir. *Elodea* yarpaqlarını Fe_2O_3 nanohissəciklərinin suspenzion məhlulunda uzun müddət saxladıqda onda ciddi fizioloji dəyişikliklər müşahidə olunur. Bu dəyişikliklər yarpaqların işıqda və ya qaranlıqda saxlanmasıdan asılıdır. Belə ki, yarpaqları dəmir nanohissəciciyinin məhlulunda işıqda saxladıqda onlarda metabolizm pozulur, pigment tərkibi dağılır, yarpaqlar tez bir zamanda saralır. Bu halda ehtimal olunur ki, dəmir nanohissəcikləri daxilə III mexanizm – endositoz yolu ilə keçə bilər və fotosintez prosesini ciddi zədələyir. Bu fenton reaksiyasının güclənməsi nəticəsində də ola bilər. Uzun müddət işıqda dəmir nanohissəciklərinin məhlulunda qalmış yarpaqlarda MP-nin aktiv hissəsi tamamilə yox olur. MP qiyməti 90-100 mV tərtibində olur, lakin ferrisianidin təsiri hələ də müşahidə edilir (Şəkil 3, 4). Qaranlıqda dəmir nanohissəciklərində qalan yarpaqlarda isə elə bir ciddi fizioloji dəyişikliklər müşahidə olunmur. MP potensialının qiyməti 190-200 mV tərtibində olur, qaranlıq-ışığı keçidlərində MP dəyişmə kinetikasi normal hüceyrələrdə olduğu kimi qalır. Bu zaman redoks sistemin funksiyası da dəyişmir. Maraqlı odur ki, *Elodea* yarpaqları uzun müddət qaranlıqda nanohissəciklərdə qaldıqda redoks sistem daha güclü işləyir. Bu fikri təsdiq etmək üçün əlavə təcrübələrə ehtiyac olduğunu demək lazımdır.

Plazmatik membranın müqavimətinin ölçülməsi isə onun strukturunda baş verən proseslərin nəticəsi

ola bilər. Təcrübələrin nəticələrindən aydın olur ki, Al+Ni nanokompozitinin təsiri plazmatik membranda struktur dəyişmələri ilə nəticələnir. Belə ki, Al+Ni nanokompozitində saxlanmış *trianea* hüceyrələrində MM kəskin azalır. Bu isə membranda olan lipid təbəqəsində dəşiklərin əmələ gəlməsi səbəbindən ola bilər. Əgər nanohissəciklər MP və MM dəyişdirmirsə deməli onlar hüceyrəyə endositoz yolu ilə daxil olurlar. Təcrübələrimizdə dəmir və alüminum nanohissəcikləri MP və MM elə də kəskin dəyişdirmir. Nanohissəciklər membranı keçməyə belə onun səthində “oturaraq” ion kanallarını qapayar, onların potensialdan asılılıq funksiyasını poza bilər. Nanohissəciklər səthi aktiv maddələr olduğundan elektron donoru və ya akseptoru rolunda çıxış edə bilər. Bu da redoks sistemin fəallığında mühüm dəyişikliklər yarada bilər. Uzun müddət ekspozisiyadan sonra nanohissəcik MP-nin qiymətini dəyişdirirsə bu o deməkdir ki, nanohissəcik hüceyrəyə daxil olaraq mühüm fizioloji prosesləri (fotosintez, tənəffüs, zülal sintezi və s.) pozmuşdur. Membranın strukturunda baş verən dəyişiklikləri membranın elektrik müqavimətini MP ilə birlikdə ölçükdə daha yaxşı aydınlaşdırmaq olur. Odur ki, mütləq nanohissəciklərin təsiri öyrənmə zamanı MP ilə birlikdə membran müqavimətini də izləmək lazımdır. Nanohissəciklərlə olan təcrübələrin əsas məqsədi həm də nanohissəciklərin membran sistemləri ilə qarşılıqlı təsir mexanizminin təbiətini aydınlaşdırmaqdır. Bu təcrübələrdə nanohissəciklərin nə dərəcədə toksik olduğunu və ya onların hüceyrədə hansı bioloji prosesləri stimullaşdırdığını aydınlaşdırmaq olur.

Beləliklə, təcrübələrin analizi və təhlilindən belə bir nəticəyə gəlmək olar ki, nanohissəciklər bitki hüceyrələrinin plazmatik membranı ilə qarşılıqlı təsirdə olduqda əsasən onun xarici amillərə daha həssas olan H-ATFaza elektrogen proton pompası və redoks sistemi ilə qarşılıqlı təsirdə olur. Onların fəallığına təsir edərək hüceyrənin mineral qidalanmasını dəyişdirir. Plazmatik membrana qarşılıqlı təsirdə olan nanohissəciklərin nə dərəcədə toksik olmasını hüceyrə üçün letal effektlər yaratmasından əvvəl qiymətləndirmək olar. Çünki plazmatik membranda baş verən zədələnmələr sonradan hüceyrənin həyat fəallığında mühüm rol oynaya bilər.

ƏDƏBİYYAT

- Ahmadov I.S., Ramazanov M.A., Sienkiewicz A., Forro L.** (2014) Uptake and intracellular trafficking of superparamagnetic iron oxide nanoparticles (spions) in plants. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, **9(3)**: 1149-1157
- Ahmadov I., Crittin M., Khalilov R., Ramazanov M., Schaer M., Matus P., Digigow R., Fink A., Forró L., Sienkiewicz A.** (2013) Tracking

- up-conversion nano-phosphors and superparamagnetic iron oxide nanoparticles in aquatic plants: ESR and confocal microscopy assays. SSD 10th edition. Paul Scherrer Institute, Villigen.
- Fleischer A., O'Neill M.A., Ehwald R.** (1999) The pore size of non-graminaceous plant cell walls is rapidly decreased by borate ester cross-linking of the pectic polysaccharide rhamnogalacturonan II. *Plant Physiology*, **121(3)**: 829-838
- Carpita N., McCann** (2000) Cell Walls. Chapter 2. In *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*.
- Cyren M.R., Majumdar S., Duarte-Gardea M., Peralta-Videa J.R., Gardea-Torresdey J.L.** (2011) Interaction of nanoparticles with edible plants and their possible implications in the food chain. *J. Agric. Food Chem.*, **59**: 3485-3498.
- Jaspreet K.V., Vinod L.** (2008) Quantification of the force of nanoparticle-cell membrane interactions and its influence on intracellular trafficking of nanoparticles. *Biomaterials*, **29(31)**: 4244-4252
- Fleischer A., Titel C., Ehwald R.** (1998) The boron requirement and cell wall properties of growing- and stationary-phase suspension-cultured *Chenopodium album* L. cells. *Plant Physiol.*, **117**: 1401-1410.
- Lin W., Stayton I., Huang M., Yinfa** (2008). Cytotoxicity and cell membrane depolarization induced by aluminum oxide nanoparticles in human lung epithelial. *Toxicological and Environmental Chemistry*, **90(5)**: 983-996
- Lin C., Fugetsu B., Su Y., Watari F.** (2009) Studies on toxicity of multi-walled carbon nanotubes on Arabidopsis T87 suspension cells. *J. Hazard. Mater.*, **170**: 578-583.
- Lin S., Reppert J., Hu Q., Hudson J.S., Reid M.L., Ratnikova T.A., Rao A.M., Luo H., Ke P.C.** (2009) Uptake, translocation, and transmission of carbon nanomaterials in rice plants. *Small*, **5**: 1128-1132.
- de Planque M.R.R., Aghdaei S., Roose T., Morgan H.** (2011). Electrophysiological characterization of membrane disruption by nanoparticles. *ACS Nano*, **5(5)**: 3599-360.
- Read S.M., Bacic A.** (1996) Cell wall porosity and its determination. In: *Modern Methods of Plant Analysis* (eds.: Linskens H-F., Jackson J.F.) Berlin, Springer Verlag; *Plant Cell Wall Analysis*: **17**: 63-80.
- Roiter Y., Ornatska M., Rammohan A.R., Balakrishnan J. et al.** (2008) Interaction of nanoparticles with lipid membrane. *Nano Lett.*, **8(3)**: 941-944.
- Wang Q.D.** (2012) Phytotoxicity of silver nanoparticles to *Arabidopsis thaliana* in hydroponic and soil systems. *MAI 50/01*, February

Влияние Наночастиц На Активности Ионных Насосов В Плазматической Мембране Клеток Растений

И.С. Ахмедов, В.Н. Рамазанлы, Н.Дж. Агаева, М.А. Рамазанов

Бакинский государственный университет, Азербайджан

В данном исследовании было изучено влияние наночастицы на активность H^+ -АТФазы и окислительно-восстановительной системы в процессе их взаимодействия с плазматическими мембранами растительных клеток. Было установлено, что наночастицы изменяют электрические параметры плазматической мембраны в зависимости от типа, концентрации и продолжительности воздействия. Обнаружено, что ZrO_2 (21 нм) и наночастицы $Al + Ni$ более всего влияют на деполяризацию МП и существенно влияют на активность протонных насосов H -АТФазы. Наночастицы не действуют на активность протонных насосов окислительно-восстановительного типа.

Ключевые слова: Наночастицы, плазматических мембран, мембранный потенциал, сопротивление мембраны, ионные насосы, H^+ АТФаза, редокс помпа

**Effect Of Nanoparticles On The Activity Of The Ion Pumps
In Plasma Membrane Of Plant Cells**

I.S. Ahmadov, V.N. Ramazanli, N.J. Agayeva, M.A. Ramazanov

Baku State University, Azerbaijan

In the given research the effect of nanoparticles on the activity of H-ATFase and redox system during their interaction with plasma membrane of plant cells have been studied. It was found that nanoparticles change the electrical parameters of plasma membrane depending on the type, concentration and duration of exposure. The much depolarization of MP was detected with the influence of ZrO₂ (21 nm) and Al + Ni nanoparticles affected the depolarization of MP more frequently and affected the activity of H⁺-ATFase proton pumps significantly. Nanoparticles did not influence on the activity of redox-type proton pumps.

Keywords: *Nanoparticles, plasma membrane, membrane potential, membrane resistance, ion pumps, H⁺ ATFase, redox pump*