

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI TƏHSİL NAZİRLİYİ
BAKİ DÖVLƏT UNİVERSİTETİ

Əlyazması hüququnda

VƏFA NƏBİ QIZI RAMAZANLI

NANOHİSSƏCİKLƏRİN BİTKİ HÜCEYRƏLƏRİNİN
PLAZMATİK MEMBRANININ ELEKTRİK PARAMETRLƏRİNƏ
TƏSİRİ MEXANİZMINİN TƏDQIQI

2406.01 – Biofizika

Biologiya üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

A V T O R E F E R A T I

Bakı – 2016

Dissertasiya işi Bakı Dövlət Universitetinin «Biofizika» kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: **İsmət Süleyman oğlu Əhmədov**
biologiya üzrə fəlsəfə doktoru, dosent

Rəsmi opponentlər: – **Niftali Mehralı oğlu Qocayev**
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor

– **Aygün Namiq qızı Nəsibova**
– biologiya üzrə fəlsəfə doktoru, dosent

Aparıcı təşkilat: AMEA-nın akademik A. Qarayev adına
Fiziologiya İnstitutu (Hüceyrə
metabolizminin biofizikası laboratoriyası)

Dissertasiya işinin müdafiəsi " _15__ " _12_____ 2016-cı il tarixdə saat ____ -da Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən D.02.012 Dissertasiya Şurasının bazasında yaradılmış birdəfəlik şuranın iclasında keçiriləcəkdir.

Ünvan: AZ 1148, Bakı ş., Z.Xəlilov küç., 23, BDU, Əsas bina, 437 sayılı auditoriya.

Dissertasiya ilə Bakı Dövlət Universitetinin Elmi kitabxanasında tanış olmaq olar.

Avtoreferat " ____ " _____ 2016-cı il tarixdə göndərilmişdir.

D.02.012 Dissertasiya
Şurasının elmi katibi:

f.r.e.n., dos. M.R. Rəcəbov

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı. Nanotexnologiyanın intensiv inkişafı ilə əlaqədar olaraq hal-hazırda nanomaterialların və onların komponentlərinin – nanohissəciklərin sənayedə və tikinti işlərində tətbiqi, tibbi praktikada istifadəsi, qida zəncirinə daxil olması və ərzaq məhsullarında, kənd təsərrüfatı texnologiyalarında işlədilməsi onların ətraf mühitə yayılması ehtimalını xeyli artırmışdır. Odur ki, nanohissəciklərin insan orqanizminə, heyvanlara və eləcə də bitkilər aləminə təsiri geniş araşdırılmağa başlanmışdır. Bu araşdırmalar iki səbəbdən aktual olmuşdur. Birincisi, nanomaterialların təbiəti haqqında məlumatların azlığı, onların toksik olub olmamaları axıra qədər öyrənilməmişdir. İkincisi, nanomaterialların canlı sistemlərə daxil olaraq toplanması və metabolik proseslərdə iştirakı hansı fəsadlar törədəcəyi maraqlıdır və elmi araşdırmalar tələb edir. Nanomaterialların tibbdə intensiv tətbiqi bu məsələnin heyvanlar üzərində öyrənilməsinə daha da aktuallaşdırmışdır və sahədə geniş tədqiqatlar aparılır. Lakin nanohissəciklərin bitkilərlə qarşılıqlı təsiri, onların toksik effektləri az öyrənilmişdir.

Nanohissəciklərin bitki hüceyrələri ilə qarşılıqlı təsirinin öyrənilməsi həm onların fitotoksik təbiətinin aydınlaşdırılmasına və həm də hüceyrə metabolizmində baş verən dəyişikliklərin riskinin qiymətləndirilməsinə imkan yaradır. Nanohissəciklərin bitkilərdə hüceyrə səviyyəsində təsirinin öyrənilməsində ən maraqlı sahə onların plazmatik membranla qarşılıqlı təsirinin təbiətinin aydınlaşdırılması, hüceyrələrə sorulması, toxumalarda hərəkəti, yayılması və toplanmasına həsr olunan təcrübələrdir. Bu kimi təcrübələrin nəticələri nanohissəciklərin fitotoksik təbiətinin, bioloji membranlarda baş verən struktur və funksional dəyişikliklərin aydınlaşdırılmasına və həm də hüceyrə metabolizmində baş verən dəyişikliklərin riskinin qiymətləndirilməsinə imkan yaradır. Hüceyrədə müşahidə olunan plazmoliz hadisəsi, plazmatik membranın elektrik parametrləri hüceyrənin fizioloji vəziyyətini, onun daxilində gedən bioloji proseslərin intensivliyini, hüceyrə metabolizminin səviyyəsini göstərən ən mühüm göstəricilərdir. Odur ki, bu parametrləri ölçməklə bu və ya digər amilin və eləcə də nanohissəciklərin hüceyrəyə təsirinin mexanizmini ətraflı araşdırmaq olur.

İşin məqsədi. Nanohissəciklərin növündən, ölçülərindən, konsentrasiyasından və ekspozisiya müddətindən asılı olaraq onların bitki hüceyrələrində hüceyrə divarı və plazmatik membranla qarşılıqlı təsir mexanizmini araşdırmaq, bu strukturlarda baş verən funksional dəyişiklikləri öyrənmək, nanohissəciklərin bitki hüceyrələrinə daxil olması, hərəkəti və bitki orqanlarında toplanmasını araşdırmaq, onların toksiki təsir riskini

qiymətləndirmək olmuşdur.

Məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı məsələlərin həlli qarşıya qoyulmuşdur:

–nanohissəciklərin hüceyrə divarı ilə qarşılıqlı təsirinin (səth effektləri) onların konsentrasiyasından, növündən və ekspozisiya müddətindən asılılığının öyrənilməsi;

–nanohissəciklərin plazmatik membranda yaratdığı funksional və struktur dəyişikliklərin araşdırılması;

–nanohissəciklərin membran potensialına (MP) təsirinin onların ölçülərindən və ekspozisiya müddətindən asılı olaraq araşdırılması;

–nanohissəciklərin membran müqavimətinə (MM) təsirinin onların ölçülərindən və ekspozisiya müddətindən asılı olaraq araşdırılması;

–dəmir nanohissəciklərinin hüceyrəyə daxil olması, hüceyrələrarası hərəkəti və orqanlarda yayılması proseslərinin öyrənilməsi.

Tədqiqat obyektləri olaraq hüceyrələrinin ölçülərinin nisbətən böyük olması, yetişdirilməsinin asan başa gəlməsi səbəbindən elektrofizioloji təcrübələrdə geniş tətbiq edilən və fizioloji, biofiziki parametrləri ətraflı öyrənilmiş model bitkilərdən – *Elodea canadensis* və *Trianea bogotensis* ali su bitkiləri seçilmişdir. Test təcrübələrində isə lobya, paxla və s. kimi yerüstü bitkilərin toxum və cücərtilərindən istifadə edilmişdir. Təcrübələrdə müxtəlif ölçülü (21-100 nm) ZnO, CuO, Fe₂O₃, Fe₃O₄, ZrO₂, Al, Al+Ni kimi metal nanohissəciklərdən istifadə olunmuşdur.

Elmi yeniliklər:

1. Nanohissəciklər bitki hüceyrələrinin səthinə adsorbsiya edərək aqlomeratlar əmələ gətirir, uzun müddət səthdə qala bilir, hüceyrə divarının məsələlərində hüceyrə səthinin elektrik yükündən asılı olaraq paylanır.

2. Müəyyən edilmişdir ki, ölçülərindən, formalarından və səth yüklərindən asılı olaraq nanohissəciklər hüceyrələrin müxtəlif nahiyyələrində müxtəlif intensivlikdə adsorbsiya olunur.

3. Müəyyən edilmişdir ki, nanohissəciklər əsasən kökün intensiv böyümə zonasında daha çox toplanır.

4. Müəyyən edilmişdir ki, CuO, Fe₂O₃ və ZnO nanohissəcikləri dozalardan və ekspozisiya müddətindən asılı olaraq plazmoliz prosesinin xarakterinə və davamətmə müddətinə təsir edir. Ən güclü təsir CuO nanohissəciklərinin təsiri zamanı müşahidə edilmişdir.

5. Membran potensialının ən çox depolyarizasiya olunması və membran müqavimətinin azalması Al+Ni nanotozunun və 21 nm ölçülü ZrO₂ nanohissəciklərinin təsiri zamanı müşahidə edilmişdir.

6. Müəyyən edilmişdir ki, plazmatik membranda elektrogen ion

nasoslarının fəallığı nanohissəciklərin növündən, konsentrasiyasından, ölçülərindən və ekspozisiya müddətindən asılı olaraq dəyişir.

7. Aydınlaşdırılmışdır ki, fotosintezedici hüceyrələrdə dəmir nanohissəciklərinin təsiri işıq-qaranlıq rejimindən asılıdır. Dəmir nanohissəciklərin təsiri işıqda daha toksik olur.

8. EPR spektroskopiyasından istifadə etməklə müəyyən edilmişdir ki, nanohissəciklər bitki hüceyrələrinə daxil ola bilər, simplastik və ya apoplastik yolla hərəkət edərək orqanlara yayılır və toxumalarda toplanır.

İşin praktiki əhəmiyyəti:

–Dissertasiya işinin nəticələri nanohissəciklərin bitkilərlə qarşılıqlı təsirinə təbiətinin nəzəri əsaslarının işlənməsində, nanofitotoksikologiya elm sahəsinin inkişaf etdirilməsində istifadə oluna bilər;

–Nanohissəciklərin bitki hüceyrələri və orqanları ilə qarşılıqlı təsir mexanizminin aydınlaşdırılması onların toksikliyini müəyyən etməyə, gələcəkdə ətraf mühitdə və qida zəncirində yayılması yollarını əvvəlcədən təxmin etməyə imkan verir.

–Nanohissəciklərin bitki hüceyrələri və orqanları ilə qarşılıqlı təsir mexanizminin aydınlaşdırılmasından alınan elmi nəticələr bitkilərin məhsuldarlığını və davamlılığını artırmaq məqsədi ilə nanogübrələrin yaradılması texnologiyalarında istifadə edilə bilər.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. Nanohissəciklərin hüceyrə səthinə adsorbsiya olunması və hüceyrədə yayılması nanohissəciklərin növündən, konsentrasiyasından və ölçüsündən asılıdır;

2. Plazmoliz prosesinin xarakteri nanohissəciklərin növü, ekspozisiya müddəti və konsentrasiyası ilə müəyyən olunur;

3. Nanohissəciklərinin H^+ -ATFaza elektrojen proton pompasının aktivliyinə təsiri hissəciklərin konkret ölçüsündə və ekspozisiya müddətində müşahidə olunur;

4. Membran potensialı və müqavimətinin dəyişməsi kinetikasi nanohissəciklərin növü və ekspozisiya müddəti ilə müəyyən olunur;

5. Bitki hüceyrələrində xlorofill tərkibinin dəyişməsi konkret ölçülü və konsentrasiyalı dəmir nanohissəciklərinin hüceyrəyə daxil olması ilə əlaqədardır;

6. Bitki toxumalarının cücərmə qabiliyyəti hüceyrəyə daxil olan nanohissəcikin növü və konsentrasiyası ilə müəyyən olunur.

Tədqiqatın nəticələrinin aprobeasiyası: Dissertasiya işinə daxil edilən tədqiqat nəticələri aşağıda qeyd olunan Respublika və Beynəlxalq səviyyəli elmi konfranslarda məruzə və müzakirə edilib: «Fizikanın Aktual Problemləri» mövzusunda Respublika Elmi Konfransı (Bakı, 17 dekabr

2015); BDU-nun Biologiya fakültəsinin 80 illik yubileyinə həsr olunmuş «Eksperimental biologiyanın inkişaf perspektivləri» mövzusunda Respublika Elmi konfransı (Bakı, 19-20 dekabr 2014); Görkəmli alim, əməkdar elm xadimi, prof. M.A.Axundovun anadan olmasının 110-cu ildönümünə həsr olunmuş Gənc alimlərin və tədqiqatçıların «Müasir Biologiyanın İnnovasiya Problemləri» mövzusunda Beynəlxalq Elmi Konfransı (Bakı, 25-26 May 2012); Akademik Həsən Əliyevin 105 illik yubileyinə həsr olunmuş «Ekologiya: Təbiət və Cəmiyyət problemləri» mövzusunda II Beynəlxalq Elmi Konfransı (Bakı, 7-8 noyabr 2012); «Fizikanın Aktual Problemləri» mövzusunda VII Respublika Elmi Konfransı (Bakı, 26 noyabr 2012); Fizikanın Müasir Problemlərinə həsr olunmuş «Opto-, nanoelektronika, kondensə olunmuş mühit və yüksək enerjilər fizikası» mövzusunda VI Respublika Elmi Konfransı (Bakı, 14-15 dekabr); Görkəmli oftalmoloq alim, akademik Zərifə Əliyevanın 90 illik yubileyinə həsr olunmuş Gənc Alimlərin və Tədqiqatçıların «Müasir Biologiyanın İnnovasiya Problemləri» mövzusunda III Beynəlxalq Elmi Konfransı (Bakı, 7-8 may 2013); «Fizikanın Aktual Problemləri» mövzusunda Beynəlxalq Elmi Konfrans (Bakı, 6 dekabr 2013).

Nəşrlər. Tədqiqatın nəticələri üzrə 7 məqalə və 9 tezis dərc edilmişdir ki, onların siyahısı dissertasiyada verilir.

Dissertasiyanın quruluşu və həcmi: Dissertasiya işi girişdən, 5 fəsilədən, nəticələrin qısa şərhindən, istifadə edilmiş 197 adda elmi ədəbiyyatın biblioqrafik siyahısından, 67 şəkil və 2 cədvəldən ibarət olub, 162 səhifədə əks olunmuşdur.

DİSSERTASIYA İŞİNİN QISA MƏZMUNU

Giriş hissədə mövzunun aktuallığı əsaslandırılmış, işin məqsədi, yeniliyi, müdafiəyə təqdim olunan əsas elmi müddəalar ifadə olunmuş, elmi və praktiki əhəmiyyəti qeyd edilmiş, dissertasiyanın fəsilələrinin qısa məzmunu şərh edilmişdir.

Birinci fəsilə nanohissəciklərin bitki hüceyrələri ilə qarşılıqlı təsiri zamanı ilk baryer olan hüceyrə divarı və plazmatik membranın quruluşu və funksiyaları haqqında icmal xarakterli məlumatlar verilmişdir.

Nanohissəciklərin hüceyrə ilə ilk kontaktı və ya qarşılıqlı təsiri elektrostatik adsorbsiya, mexaniki adgeziya və ya onların hidrofobluq qabiliyyətləri vasitəsilə ola bilər. Hüceyrə səthinə çökən nanohissəciklər ilkin olaraq hüceyrə divarı ilə plazmatik membran arasında – apoplast fəzada toplanır və hətta hərəkət edə bilirlər. Onların hərəkəti kapillyar qüvvələrin təsiri ilə və ya osmotik təzyiq altında baş verir. Nanohissəciklərin

ölçüləri plazmatik membranın lipid platformalarının ölçülərinə yaxın olduqda onların qarşılıqlı təsiri nanohissəciyin səthdə oturduğu nəhiyədən asılıdır. Belə ki, membranın səthində olan reseptorların paylanması qeyri müntəzəm olduğundan onların qarşılıqlı təsirini analiz etmək çətin olur. Digər tərəfdən plazmatik membran dinamik struktura malik olduğundan, ionların aktiv daşınması, passiv ion kanallarının paylanması, endositoz nanohissəcik – membran səthi qarşılıqlı təsirin təbiətinə güclü təsir edir.

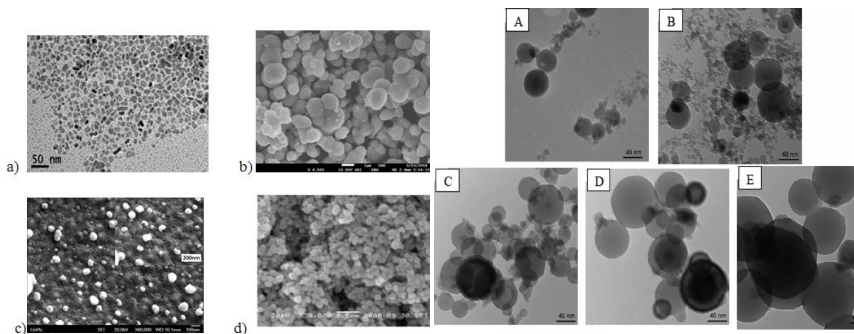
Nanohissəciklər hüceyrəyə əsasən endositoz yolu ilə daxil olurlar. Ancaq ölçüləri kiçik olan nanohissəciklər isə bir başa passiv diffuziya yolu ilə də hüceyrəyə daşına bilirlər. Tiantian Wang və onun əməkdaşları (2008) nanohissəciklərin eritrositlərdə passiv daşınmasını araşdırmışlar. Onlar flüorescent mikroskopla kvant nöqtələrinin bu hüceyrələrə asanlıqla daxil olduğunu və hüceyrələrin daxilində toplandığını müşahidə etmişlər.

Həssas elektrofizioloji üsuldən istifadə edərək Maurits R.R. de Planque və onun əməkdaşları (2011) müxtəlif ölçülü və səthi xüsusiyyətləri müxtəlif olan silisium nanohissəciklərinin zülalı olmayan ikiqat lipid membranlarla qarşılıqlı təsirini öyrənərkən müəyyən etmişlər ki, femtomol konsentrasiyada bütün növ sferik silisium nanohissəcikləri ikiqat lipid membranını keçə bilər, membranın ən azı 1% səthinə nanohissəciklər çökərsə membranın keçiriciliyi xeyli dərəcədə artır. Onlar bu effekti onunla izah edirlər ki, səthə çökən nanohissəciklərin konsentrasiyası artdıqca membranın stabilliyi azalır və membran zədələnir.

Beləliklə, nanohissəciklər hüceyrəyə necə daxil olur sualına İngiltərənin Birminham Universitetinin Biologiya elmləri və Kimya fakültəsinin alimləri Dr. Joshua Z. Rappoport, Prof. Jon Preece və Prof. Kevin Chipman belə cavab vermişlər: Nanohissəciklərin hüceyrəyə daxil olmasının üç mexanizmi var. *Mexanizm 1*: nanohissəciklər diffuziya edərək birbaşa membranı keçə bilirlər. Bu prosesdə həmçinin membranın dinamikliyi, lipid/zülal tərkibi, membranın axıcılığı böyük rol oynayır. *Mexanizm 2*: Nanohissəciklərin hüceyrəyə daxil olmasının ikinci yolu «endositozdur». Bu zaman membranın səthinə düşmüş nanohissəcik membrana mexaniki təzyiq edir, membran daxilə doğru çökür, lipid təbəqəsi ilə əhatə olunur və bir müddətdən sonra membran qapanır. Membranla əhatə olunmuş nanohissəcik vezikul formasında membrandan qopur və hüceyrənin daxilinə düşür. *Mexanizm 3*. Plazmatik membranda bir sıra ion kanalları (K, Na, H, Cl, Ca) var və bu kanallarda ionlar həm passiv (konsentrasiya gradientinin hesabına) və həm də aktiv (metabolik enerji hesabına) hərəkət edə bilər. Bu kanalların ölçüləri anqstrom tərtibində olur. Məlum olmuşdur ki, ölçüləri bu tərtibdə olan nanohis-

səciklər ion kanalları vasitəsilə membranı keçə bilir.

İkinci fəsildə tədqiqat obyektı kimi istifadə edilən bitkilərin seçilməsi əsaslandırılmış, onların fizioloji və anatomik xüsusiyyətləri işıqlandırılmış, bu bitkilərin nəzərdə tutulan təcrübələrdə üstünlükləri qeyd edilmişdir. Təcrübələrdə tədqiqat obyektı kimi *Hydrocharitaceae* fəsiləsindən olan su bitkisi *Elodea Canadensis*in yarpaqlarından və *Trianea bogotensis* bitkisinin kök hüceyrələrindən istifadə olunmuşdur. Təcrübələrdə istifadə edilən nanohissəciklərin fiziki və kimyəvi xarakteristikaları, onların alınması və tətbiq sahələri haqqında məlumatlar verilmişdir. Təcrübələrdə ölçüləri 10-30 nm tərtibində olan TiO_2 və ZnO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , 40 nm olan CuO , 100 nm olan Al , $\text{Al}+\text{Ni}$ və ölçüləri 21 nm, 42 nm və 100 nm olan ZrO_2 nanohissəciklərindən istifadə edilmişdir.

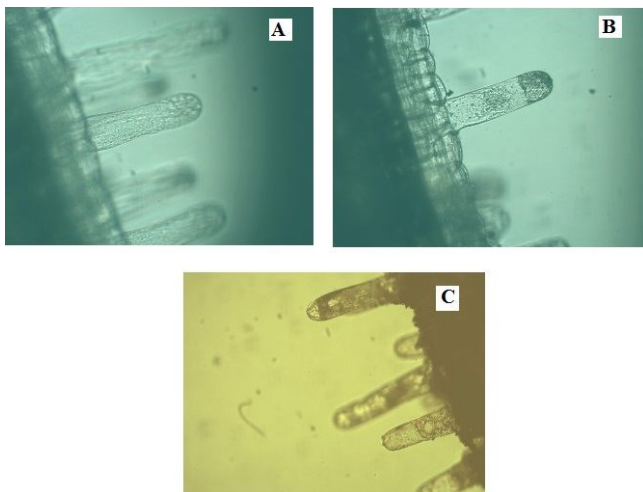


Şəkil 1. Nanohissəciklərin TEM şəkilləri: a) CuO ; b) TiO_2 ; c) Fe_2O_3 ; d) ZnO , A) Al oksidi – 30 nm, B) Al oksidi – 40 nm, C) Al – 50 nm, D) Al – 80 nm, E) Al – 120 nm

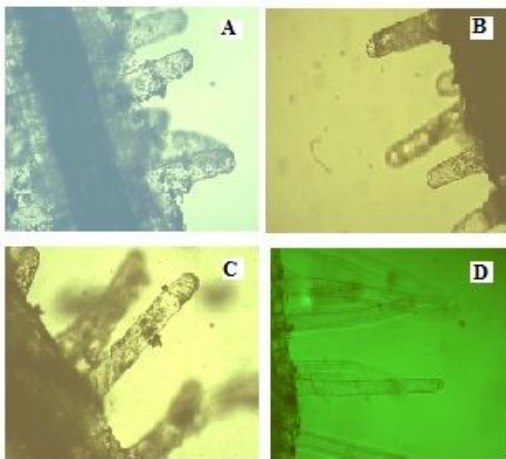
Nanohissəciklərin bitkilərə sorulmasını, orqanlarında hərəkətini və lokalizasiyasını öyrənmək üçün superparamaqnit xassəli dəmir oksidi nanohissəciklərindən (SPION) – maqemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) istifadə etməklə EPR spektrometriyası tətbiq edilmişdir. Nanohissəciklərin bitki hüceyrələrinin plazmatik membranı ilə qarşılıqlı təsirini müyyən etmək üçün mikroelektrodlar texnikasından istifadə edərək membran potensialının və membran müqavimətinin dəyişmə kinetikaı araşdırılmışdır. Müşahidələrdə optik mikroskopiyadan, analitik ölçmə üsullardan istifadə etməklə membranın funksiyasında baş verən dəyişikliklərinin biofiziki əsasları, fizioloji effektlər haqqında məlumatlar verilmiş və metodların tətbiqi əsaslandırılmışdır.

Üçüncü fəsildə ali su bitkilərinin nümayəndələrindən olan və elektrofizoloji təcrübələrdə geniş istifadə edilən *Elodea canadensis*in yarpaq və *Trianea bogotensis*in kök hüceyrələrində metal əsaslı bəzi nanohissəciklərin səth effektləri – hüceyrə səthində adsorbsiya olunması, hüceyrə divarı ilə qarşılıqlı təsiri, hüceyrənin səthində membran yanı zeta potensialından asılı

olaraq paylanması və plazmoliz prosesinə təsirinin fiziki əsasları tədqiq edilmişdir. İlk təcrübələrdə *Trianea bogotensis* bitkisinin kökündən istifadə edərək optik mikroskopla nanohissəciklərin kök əmici tellərinin səthinə çökməsi və paylanması, hüceyrələrdə baş verən funksional dəyişikliklər izlənməmişdir (əsasən protoplazmanın hərəkəti). Müəyyən edilmişdir ki, nanohissəciklərin aqlomeratları hüceyrə sətinin müxtəlif nahiyyələrində qeyri bərabər toplanır. CuO nanohissəciklərinin kök əmici tellərinin uc hissəsində daha çox toplanması müşahidə edilmişdir. Video kamera ilə hüceyrələrin vəziyyəti və protoplazmanın hərəkəti də müşahidə edilmişdir. Bu müşahidələrdən aydın olmuşdur ki, CuO nanohissəcikləri qısa müddətli ekspozisiyalarda (5, 10 dəq) protoplazmanın hərəkətinə təsir etmir. Lakin 24 saat və daha artıq müddətdə nanohissəciklərin məhlulunda saxlanmış kök hüceyrələrində protoplazmanın hərəkəti ləngiyir, ancaq hüceyrədə elə də ciddi dəyişikliklər müşahidə edilmir (şəkil 2).



Şəkil 2. Ekspozisiya müddətindən asılı olaraq CuO nanohissəciklərinin məhlullarında saxlanmış *Trianea bogotensis* bitkisinin trixoblast hüceyrələrinin təsviri: A – 1 dəqiqə; B – 10 dəqiqə; C – 24 saat.



Şəkil 3. Nanohissəciklərin məhlullarında 24 saat saxlanmış *Trianea bogotensis*in trixoblast hüceyrələrinin təsvirləri:

A – ZnO;
B – CuO;
C – TiO₂;
D – Fe₂O₃.

Nanohissəciklərin hüceyrə sətinə çökmə sürəti, aqlomerasiya etməsi və paylanması nanohissəciklərin növündən asılıdır. TiO₂ və ZnO nanohissəcikləri CuO nanohissəciklərinə nisbətən daha sürətlə çökmür. CuO nanohissəcikləri əsasən hüceyrənin və kökün apikal hissəsinə daha çox toplanır. Fe₂O₃ nanohissəciklərin adsorbsiyası müşahidə olunmur (şəkil 3).

Beləliklə, optik mikroskopda video müşahidələrlə müəyyən edilmişdir ki, nanohissəciklərin hüceyrələrin səthində toplanması hər şeydən əvvəl onların konsentrasiyasından asılıdır. Digər tərəfdən ekspozisiya müddəti də mühüm rol oynayır. Bütün hallarda nanohissəciklər hüceyrələrin səthində aqlomeratlar əmələ gətirir və onların sonradan tamamilə yuyulması konsentrasiyadan asılı olur. Yüksək konsentrasiyalarda nanohissəciklərin hüceyrə səthindən yuyulması çətinləşir.

Təcrübələrdən alınan maraqlı nəticələrdən biri də odur ki, nanohissəciklərdən bəziləri (məsələn, CuO) trixoblast hüceyrələrin uc hissəsində daha çox toplanır. Araşdırmalardan məlumdur ki, kök hüceyrələrində, xüsusilə trixoblast hüceyrələrdə apikal böyümə çox intensivdir. Hüceyrələrin intensiv böyümə nahiyyələrində plazmatik membranda zülalların miqdarı və strukturlaşması intensiv olur. Membran zülalları intensiv sintez olunaraq plazmatik membranın strukturuna daxil olur və hətta hüceyrə divarı ilə plazmatik membran arasına fəzaya çıxırlar. Bu zülallar əsasən mənfi yüklü olurlar. Odur ki, zülalların hüceyrənin səthində paylanması məhz nanohissəciklərin səthdə paylanmasına birbaşa təsir edir. Zülallar əsasən mənfi yüklü olduğundan ehtimal olunur ki, səthi müsbət yüklü nanohissəciklər zülallar çox olan nahiyyələrdə daha çox toplanır. Təcrübələrdə bu prosesi CuO nanohissəciklərində görmək olur. Bu cür

təcrübələrlə həmçinin nanohissəciklərin səth yüklərinin təbiəti haqqında müəyyən fikirlər söyləmək olur. Belə ki, hər hansı bir nanohissəcik hüceyrələrin uç hissəsinə toplanırsa, deməli bu nanohissəciklərin səthi müsbət yüklüdür. Digər tərəfdən nanohissəciklərin hüceyrə divarının plazmatik membranla qarşılıqlı təsir mexanizmini hüceyrələrin böyüməsi zamanı müxtəlif fizioloji mərhələlərdə müəyyən etməklə onların toksikliyi qiymətləndirmək olur. Bu təcrübələrlə nanohissəciklərin bitkilərin ontogenezinin hansı mərhələsində daha təsirli olmasını aşkar etmək mümkündür. Bu isə öz növbəsində nanofitotoksikologiya üçün vacib olan bir məsələni, nanohissəciklərin bitkilərin fizioloji vəziyyətindən asılı olaraq təsir effektlərini araşdırmağa imkan verir.

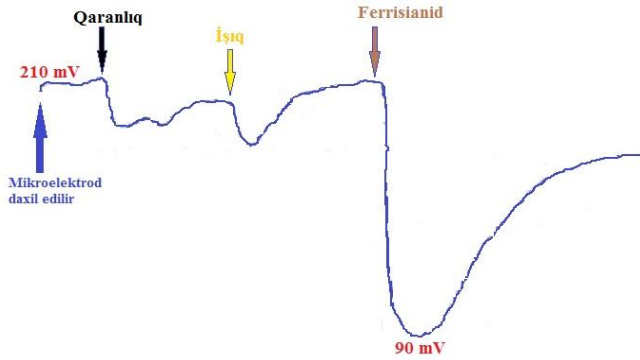
Dördüncü fəsildə metal nanohissəciklərinin növündən, ölçülərindən, ekspozisiya müddətindən və işıq-qaranlıq rejimindən asılı olaraq MP və MM dəyişmə kinetikasi öyrənilmişdir. Hüceyrənin fizioloji nativliyini saxlayaraq plazmatik membranın elektrik parametrlərini ölçməklə onun nanohissəciklərə cavab reaksiyalarını araşdırmaq mümkün olmuşdur.

Hüceyrədaxili mikroelektrodlarla aparılan ölçmələrin nəticələri göstərir ki, bitkilərin hüceyrələrində MP qiyməti heyvan hüceyrələrinə nisbətən xeyli yüksəkdir. Heyvan hüceyrələrində onun qiyməti 80-100 mV intervalında olursa, bitki hüceyrələrində, xüsusilə fotosintezedici avtotrof hüceyrələrdə 200-300 mV intervalında olur. Normal fizioloji şəraitdə işıqda ölçülən MP 250-300 mV qiyməti onu göstərir ki, MP generasiyasında aktiv ion daşınmasının rolu xeyli böyükdür. Təcrübələr göstərmişdir ki, MP-nın aktiv komponentinin generasiyasında H^+ -ATFaza və redoks-sistem iştirak edir. Müəyyən edilmişdir ki, plazmatik membranda olan hər iki proton nasosu paralel fəaliyyət göstərir. Qaranlıq rejimində fotosintez prosesinin dayanması ilə H^+ -ATFaza proton nasosunun fəaliyyəti zəifləyir və bu MP-nın depolyarizasiyası ilə müşahidə olunur. Odur ki, işıqla induksiya olunmuş MP-nın amplitudu H^+ -ATFaza proton nasosunun fəallığının göstəricisi kimi çıxış edir. Redoks sistemin fəallığını isə onun spesifik inhibitoru sayılan ferrisianid $Fe(CN)_6$ ilə izləmək olur. Ferrisianid bitki hüceyrələrində plazmatik membranı keçə bilmir, onun səthinə yaxınlaşdıqda elektronun akseptoru rolunu oynayır. Plazmatik membranda olan redoks-sistemdə iştirak edən elektronları tutaraq reduksiya olunur və onun aktivliyini zəiflədir nəticədə MP depolyarizasiya olunur/

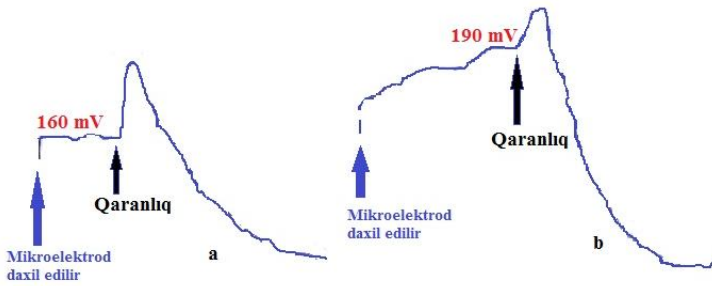
İlkin təcrübələrdə nanohissəciklərin ani təsiri (5-10 dəqiqə) öyrənilmişdir. Təcrübələrin nəticələrindən məlum olur ki, qısamüddətli təsir zamanı nanohissəciklər MP və MM təsir etmir. Bu onu göstərir ki, nanohissəciklər plazmatik membranı ionlar kimi keçə bilmir. Onların

ölçüləri ion kanallarının ölçülərindən böyük olduğundan onlar əvvəlcə hüceyrə divarı ilə plazmatik membran arasına boşluqda toplanır və bu zaman plazmatik membranının səthinə yaxınlaşa bilirlər. Uzun müddət plazmatik membranla qarşılıqlı təsirdə olan nanohissəciklər nəhayət endositoz yolu ilə hüceyrəyə daxil ola bilirlər. Odur ki, nanohissəciklərin təsirini öyrənmək üçün elodea yarpaqları və trianeanın kökləri (gövdədən ayrılmadan) 3, 5, 7 və 10 gün nanohissəciklərin dispersion məhlulunda saxlanılmışdır.

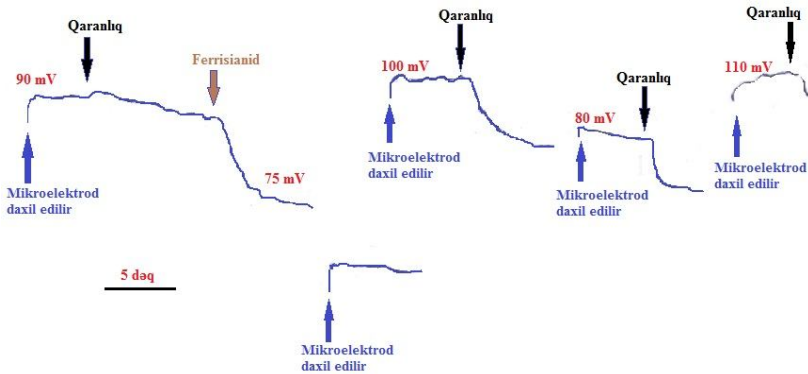
Şəkil 4-də ölçüləri 21 nm olan ZrO_2 nanohissəciyinin məhlulunda 3 gün adi işıqda saxlanmış elodea yarpaqlarında qaranlıq-ışığ keçidləri zamanı və ferrisianidin təsirindən MP dəyişmə kinetikasi göstərilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi 3 gün müddətində ZrO_2 nanohissəcikləri elodea hüceyrələrində MP-nın qiymətinə (200 mV) elə də ciddi təsir etməmişdir. Lakin qaranlıq – işıq keçidləri zamanı normal yarpaqlarda müşahidə edilən depolyarizasiya və hiperpolyarizasiya ciddi dəyişikliyə uğramışdır. Alüminium nanohissəciklərində saxlanmış elodea yarpaqlarında MP-nın qiyməti azalmışdır, lakin işıq-qaranlıq keçidi zamanı MP depolyarizasiya kinetikasi normal yarpaqlarda olduğu kimi qalır. Bu cür dəyişmə Al+Ni kompozit nanohissəklərində də müşahidə edilir. Bu təcrübələrin nəticələri göstərir ki, Al və Al+Ni nanohissəcikləri elektrogen proton nasoslarının fəallığına ciddi təsir etmir (şəkil 5). Digər təcrübələrdə həm işıqda və həm də qaranlıqda saxlanmış yarpaqlarda MP qiyməti ölçülmüş, işıq-qaranlıq-ışıq keçidlərində MP dəyişmə kinetikasi müəyyən edilmiş və ferrisianidin MP təsirinə baxılmışdır. Bu təcrübələrin nəticəsi göstərmişdir ki, Fe_3O_4 nanohissəciklərinin məhlulunda qaranlıqda saxlanmış yarpaqlarda MP qiyməti yarpaqları işıqlandıran zaman 190-200 mV intervalında olur. MP bu qiyməti normal yarpaqlardan çox da fərqlənmir. Işıq-qaranlıq keçidi zamanı MP depolyarizasiya olunur və onun qiyməti 100 mV tərtibində olur və yarpaqlar işıqlandırıldıqdan sonra yenidən hiperpolyarizasiya olunaraq 225 mV qədər yüksəlir. Həmin təcrübələr işıqda saxlanmış yarpaqlarla da aparılmışdır. Məlum olmuşdur ki, işıqda Fe_3O_4 nanohissəciklərinin məhlulunda qalmış elodea yarpaqlarında MP-nın aktiv hissəsi tamamilə itir, onun yalnız passiv hissəsi qalmır. MP qiyməti 80-110 mV intervalında olmuşdur. Hüceyrələrin əksəriyyətində işıq-qaranlıq keçidi zamanı MP-nın cüzi depolyarizasiyası müşahidə edilir. Bəzi hüceyrələrdə isə bu reaksiya tamamilə itmir. Lakin ferrisianid reaksiyası müşahidə edilir. Bu təcrübələrin nəticəsi şəkil 6-də göstərilmişdir. Beləliklə təcrübələr göstərmişdir ki, Fe_3O_4 nanohissəciklərinin elodea yarpaqlarında MP təsiri onların işıq və ya qaranlıq rejimdə saxlanmasından asılıdır.



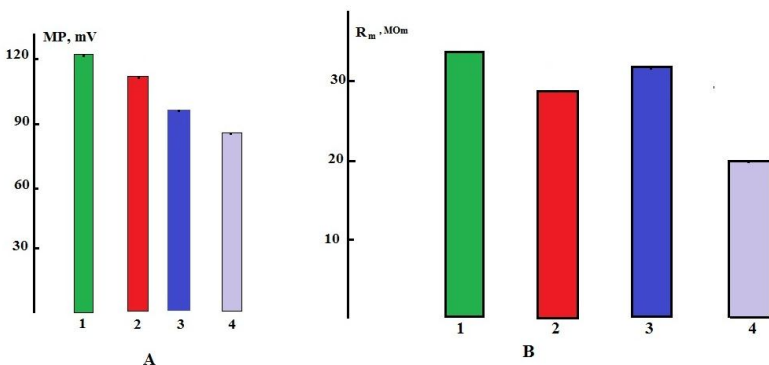
Şəkil 4. Üç gün ölçüləri 21 nm olan ZrO₂ nanohissəciklərinin məhlulunda saxlanmış Elodea yarpaqlarında qaranlıq-ışığı keçidləri zamanı və ferrisianidin təsirindən MP dəyişmə kinetikasi



Şəkil 5. 20 gün Al (a) və Al+Ni (b) nanohissəciklərinin məhlulunda saxlanmış Elodea yarpaqlarında MP dəyişmə kinetikasi



Şəkil 6. 20 gün Fe₃O₄ nanohissəciklərinin məhlulunda işıqda saxlanmış Elodea yarpaqlarında MP dəyişmə kinetikasi



Şəkil 7. Nanohissəciklərin məhlullarında 24 saat saxlanmış *Trianea bogotensis* kök hüceyrələrində MP (A) və MM (B) dəyişməsi: 1 – SGS-də; 2 – Fe₃O₄, 3 – Al, 4 – Al+Ni

Nanohissəciklərin plazmatik membranın MM təsirini araşdırmaq üçün *Trianea bogotensis* bitkisinin kök hüceyrələrindən istifadə edilmişdir. Trianeanın kök əmici tellərinin ölçüləri kifayət qədər böyük olduğundan onların nativliyini uzun müddət saxlamaqla iki mikroelektrod daxil etmək olur. Nanohissəciklərin MP və MM təsirini öyrənmək üçün Fe₃O₄, Al, Al+Ni nanohissəcikləri götürülmüşdür. Bu nanohissəciklərin SGS-də 0,1 mq/ml qatılıqda məhlulları hazırlanmış, təcrübədən əvvəl bu məhlullar 5-10 dəqiqə ultrasəs cihazında işlənmişdir. *Trianea* bitkisi kökləri ilə birlikdə nanohissəciklərin məhlullarında 24 saat saxlanmışdır. 24 saatdan sonra *Trianea* bitkisinin köklərindən biri gövdədən ayrılaraq obyekt kamerasına yerləşdirilmiş və həmin kökdə MP qiyməti bir kökdə 3-5 hüceyrə üçün ölçülmüşdür, digər tərəfdən eyni bir variantda ən azı 3 kökdən istifadə edilmişdir. Müşahidələr göstərmişdir ki, *trianea* bitkisinin kökün inkişafına nanohissəciklər təsir etmir. Lakin uzun müddət qaldıqda Al+Ni nanohissəcik kompozitinin məhlulunda köklərin inkişafı dayanır, hüceyrələrin bölünməsi ləngiyir. Uzunmüddətli ekspozisiya zamanı trianeanın kök hüceyrələrində MP qiyməti 120-90 mV intervalında azalır. Ən çox azalma Al+Ni nanohissəciklərində müşahidə edilir. Bu təcrübələrin nəticəsi Şəkil 6-da verilmişdir. Sonrakı təcrübələrdə trixoblast hüceyrələrə 2 mikroelektrod daxil edilərək MM ölçülmüşdür. Təcrübələr göstərmişdir ki, nanohissəciklərin qısa müddətli təsiri zamanı kök hüceyrələrində MM dəyişməsi müşahidə edilmir. Odur ki, MM də 24 saat nanohissəciklərin məhlulunda qalmış kök hüceyrələrində ölçülmüşdür.

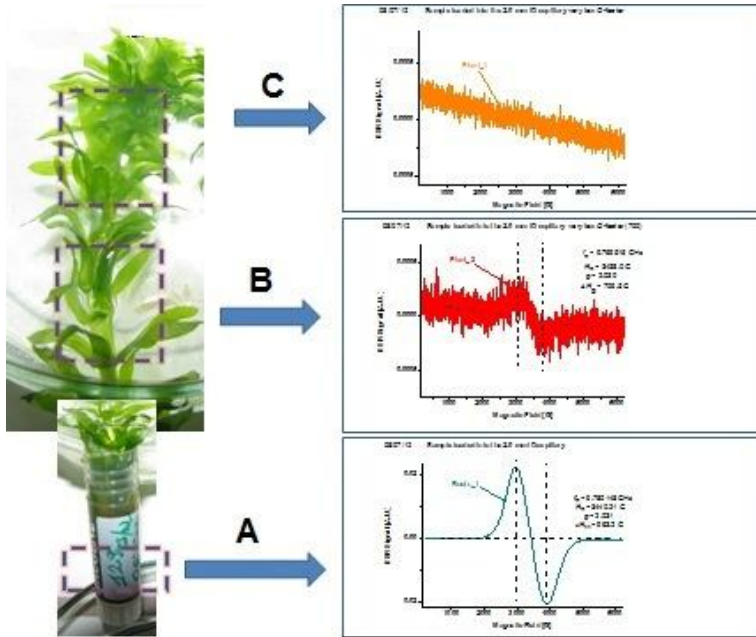
Plazmatik membranın elektrik parametrləri onun aktiv və passiv ion kanallarının funksiyasını və eləcə də membranın struktur dəyişmələrini yaxşı izləməyə imkan verir. Müəyyən edilmişdir ki, hüceyrə səthinə adsorbsiya olunmuş nanohissəciklər qısamüddətli ekspozisiya zamanı

plazmatik membranı keçmir və onun strukturunda, funksiyasında elə bir ciddi dəyişiklik yaratmır. Lakin uzunmüddətli ekspozisiya zamanı MP və MM azaldır. Plazmatik membranda olan ektrogen ion nasoslarının fəallığı nanohissəciklərin konsentrasiyasından, ölçülərindən və ekspozisiya müddətindən asılı olaraq dəyişə bilər. Müəyyən edilmişdir ki, fotosintezedici hüceyrələrdə dəmir nanohissəciklərinin təsiri işıq-qaranlıq rejimindən asılıdır. Nanohissəciklərin təsiri işıqda daha toksik olur, nəinki qaranlıqda. Müəyyən edilmişdir ki, nanohissəciklər əsən H^+ -ATFaza tipli ektrogen proton pompaya təsir edir redoks təbiətli elektron proton pompanın fəallığını saxlayır və bəzi hallarda redoks sistemin fəallığının artması müşahidə olunur. Göstərilmişdir ki, dəmir nanohissəcikləri qaranlıqda redoks sistemin fəallığına təsir etmir.

Beşinci fəsildə nanohissəciklərin bitki hüceyrələrinə, toxumlara daxil olması, onların bitkilərin gövdəsində hərəkəti və orqanlarında toplanması məsələləri EPR spektroskopiyası metodu ilə tədqiq edilmişdir. Bu məqsədlə dəmir oksidi nanohissəciklərindən ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) istifadə edərək elodeanın yarpaqlarında və gövdəsində dəmir oksidi nanohissəciklərinin hərəkəti öyrənilmişdir. Təcrübələrdə $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ nanohissəciklərinin EPR signalını müəyyən etməklə, uzunmüddətli ekspozisiya şəraitində dəmir nanohissəciklərinin kökdən gövdəyə və oradan da yarpaqlara hərəkəti araşdırılmışdır. Elodea budağının bir hissəsi dəmir nanohissəciyinin məhlulunda, digər hissəsi isə adi suda saxlanmışdır. Dəmir oksidi nanohissəcikləri məhlulunda qalmış elodea budağının yarpaqlarında və gövdəsində EPR signalı güclü olmuşdur. Həmin budağın adi suda qalan hissəsindən götürülmüş yarpaqlarda və gövdədə EPR signalı zəif olmasına baxmayaraq müşahidə edilmişdir. Təcrübənin nəticələri şəkil 9-da göstərilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi, elodeanın dəmir oksidi nanohissəcikləri məhlulunda qalmış hissəsindən götürülmüş nümunələrdə EPR signalının amplitudu xeyli böyük olmuşdur (A), lakin gövdənin adi suda qalmış hissəsindən götürülmüş nümunələrdə EPR signalı zəif (B) olmuşdur. Gövdənin uc hissələrində (C) isə EPR signalı müşahidə edilməmişdir. Beləliklə, müəyyən edilmişdir ki, dəmir oksidi nanohissəcikləri elodeanın gövdəsinə daxil ola bilər və oradan yarpaqlara daşır.

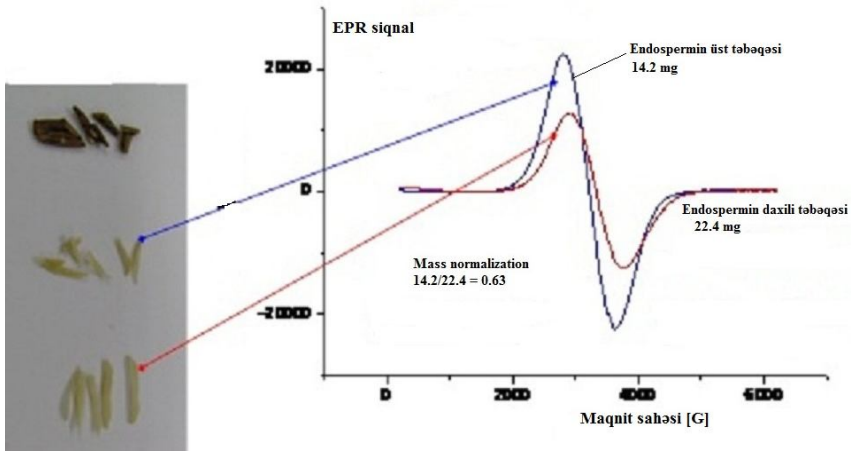
Təcrübələrdə həmçinin dəmir oksidi nanohissəciklərinin bitkilərin cücərən toxumlarına daxil olması da EPR üsulu ilə tədqiq edilmişdir. Toxumlar dəmir oksidi nanohissəciyi olan məhlulda 24 saat saxlandıqdan sonra onların qabığından, endosperm və rüşeym zonasından nümunələr götürülərək EPR signalı çəkilmişdir. Müxtəlif bitkilərin (lobya, qarğıdalı, noxud, buğda, mərcimək, balqabaq, paxla) toxumlarında dəmir oksidi nanohissəciklərinin EPR signalı yoxlanmışdır. Şəkil 9-da lobyə toxumunda dəmir oksidi nanohissəciyinin EPR signalı göstərilmişdir. Təcrü-

bələr göstərmişdir ki, dəmir oksidi nanohissəciklərinin EPR signalı toxumların həm qabığında və həm də endospermə müşahidə olunur. Bütün toxumlarda EPR signalı müşahidə olunmuşdur. Lakin balqabaq toxumlarının daxili nazik qabığını dəmir oksidi nanohissəcikləri keçə bilmir. Odur ki, balqabaq toxumunun endosperm təbəqəsində EPR signalı müşahidə olunmur.



Şəkil 8. Dəmir nanohissəciklərinin elodea bitkisinin müxtəlif hissələrindən götürülmüş nümunələrində EPR siqnalı.

Nanohissəciklərin hüceyrəyə daxil olmasını təsdiqləyən faktlardan biri də onların hüceyrədaxili proseslərə təsiridir. Nanohissəciklər hüceyrəyə daxil olarsa və hüceyrə daxilində toplanarsa onda onların hüceyrədaxili strukturlarla və eləcə də proseslərlə qarşılıqlı təsiri qaçılmazdır. Odur ki, hüceyrədaxilinə sorulmuş nanohissəciklərin fotosintez, tənəffüs, zülal sintezi, parçalanma və reduksiya reaksiyaları və s. kimi mühüm proseslərdə yaratdığı dəyişikliklərin müəyyən edilməsi nanohissəciklərin bilavasitə hüceyrəyə daxil olduğuna bir sübutdur. Bitki hüceyrələrində bu proseslərdən ən mühümü fotosintez prosesidir. Təcrübələrdə nanohissəciklərin xlorofill flüoressensiya şüalanmasına təsirini öyrənməklə onların xlorofil



Şəkil 9. Dəmir nanohissəciyində saxlanmış lobya toxumunun müxtəlif hissələrindən götürülmüş nümunələrində EPR siqnalı

tərkibinin dəyişməsi kinetikasi araşdırılmışdır. Xlorofill flüoressensiyası nanohissəciklərin molekulyar səviyyədə təsirinin öyrənilməsində tətbiq edilən biofiziki metodlardan ən əlverişlisidir. Belə ki, bu üsuldən istifadə edərək nanohissəciklərin nativ yarpaqlarda xlorofil tərkibinin dəyişməsini müəyyən etmək mümkün olmuşdur. Bunun üçün Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , Al nanohissəciklərindən istifadə edilmişdir. Təcrübələr sübut etmişdir ki, dəmir oksidi nanohissəcikləri elodea yarpaqlarında xlorofil tərkibini dəyişdirir. 7 günlük ekspozisiyadan sonra xlorofilin miqdarı azalır. Dəmir nanohissəcikləri işıqda qalmış yarpaqlarda daha effektiv təsir edir. Digər tərəfdən Fe_2O_3 nanohissəciklərinin təsiri Fe_3O_4 nanohissəciklərinə nisbətən bir qədər zəif olur. Alüminium nanohissəcikləri ilə aparılan təcrübələrdə isə xlorofil tərkibinin dəyişməsi elə də güclü olmamışdır. Alüminium nanohissəciklərinin xlorofil tərkibinə təsiri işıq-qaranlıq rejimindən asılı olmur. Nanohissəciklərin toxumların cücərmə qabiliyyətini təsiri də araşdırılmışdır. Məlum olmuşdur ki, nanohissəciklərin toxumların cücərmə qabiliyyətinə təsiri hər şeydən əvvəl bitkilərin növündən asılı olaraq həm pozitiv və həm də neqativ ola bilər. Al+Ni nanohissəcikləri paxla cücərtilərinin inkişafını dayandırır, lakin qarğıdalı cücərtilərinin böyümə intensivliyinə təsir etmir. $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ nanohissəcikləri lobya, mərcimək, buğda və noxud toxumlarının cücərmə qabiliyyətini artırır və həm noxud və həm də lobya cücərtilərinin inkişafını stimullaşdırır.

NƏTİCƏLƏR

1. Müəyyən edilmişdir ki, hüceyrə səthinə adsorbsiya olunan nanohissəciklər hüceyrə divarında aqlomeratlar, plazmatik membranın səthində isə klasterlər əmələ gətirir, nanohissəciklərin hüceyrə divarında və hüceyrə divarı ilə plazmatik membran arasındakı fəzədə yayılması mexanizmi onların növündən, ekspozisiya müddətindən, konsentrasiyasından və səth yüklərindən asılıdır.

2. Hüceyrədə protoplazmanın hərəkət sürəti, plazmoliz prosesinin forma və xarakterinin dəyişməsi mexanizmi və ən əsası, nanohissəciklərin hüceyrənin apikal böyümə zonasına adsorbsiya olunma sürəti səthi yüklərin işarəsindən asılıdır (müsbət yüklərdə bu daha sürətlidir) və növündən asılıdır (ZnO-də daha sürətlidir).

3. Müəyyən edilmişdir ki, uzunmüddətli ekspozisiya zamanı plazmatik membranın potensialının və müqavimətinin dəyişməsi nanohissəciklərin növündən, ölçülərindən və konsentrasiyasından asılıdır. Müəyyənləşdirilmişdir ki, H-ATFaza elektrogen proton nasosunun aktivliyi ZrO_2 nanohissəciklərinin ölçülərinin azalması ilə artır, redoks nasosunun aktivliyi isə onların ölçülərindən demək olar ki, asılı deyil.

4. Fotosintezedici hüceyrələrdə Fe_3O_4 nanohissəciklərinin membran potensialına təsirinin onların işıq və ya qaranlıq rejimlərində saxlanmasıdan asılı olması müəyyənləşdirilmişdir; işıqda saxlandıqda elodea yarpaqları daha tez nativliyini itirir, hüceyrələrdə metabolizm dayanır və yarpaqlar saralır, membran potensialının aktiv komponenti itirir; qaranlıqda isə, onlar nativliyini saxlayır, hüceyrələrdə protoplazmanın hərəkəti stabil qalır, membran potensialının qiymətində ciddi dəyişiklik baş vermir,

5. Al nanohissəciklərinin membran potensialının dəyişmə kinetikasına təsiri işıq və ya qaranlıq rejimlərdən asılı olmur, uzun müddətli ekspozisiya zamanı membran potensialı azalır. Müəyyən edilmişdir ki, Al nanohissəcikləri H-ATFaza elektrogen proton nasosunun aktivliyinə ciddi təsir etmir, lakin redoks sistemin fəaliyyətini pozur.

6. Al+Ni nanokompositi işıqda qalmış yarpaqlarda membran potensialını azaldır və hüceyrələrin fizioloji vəziyyətinə toksiki təsir edir. Müəyyən edilmişdir ki, Al+Ni nanotozu da H-ATFaza elektrogen proton nasosunun aktivliyinə deyil, redoks sistemin fəaliyyətinə təsir edir.

7. Uzunmüddətli ekspozisiya zamanı trianeanın kök hüceyrələrində membran potensialı və müqavimətinin azalma sürətinin Al+Ni nanotozunda daha böyük olması və nanohissəciklərin bitki hüceyrələrinə əsasən endositoz yolu ilə daxil olması müəyyən edilmişdir.

8. EPR və xlorofil flüorossensiya üsulu ilə, dəmir oksidi nanohissəciklərinin bitkilərə və onların toxumlarına sorula bilməsi, gövdəyə və oradan yarpaqlara hərəkət edərək orqanlarda toplanması mexanizmləri üçün

model təklif olunmuşdur. Müəyyən olunmuşdur ki, eyni bir nanohissəciyin toxumların hidratlaşması, cücərmə qabiliyyəti və cücərtilərin inkişafına stimullaşdırıcı və ya toksiki təsiri bitkilərin növündən asılıdır – Al+Ni xəlitəsi paxla cücərtilərinin inkişafını dayandırır, lakin qarğıdalı cücərtilərinin böyümə intensivliyinə təsir etmir. γ -Fe₂O₃ nanohissəcikləri lobyə, mərcimək, buğda və noxud toxumlarının cücərmə qabiliyyətini artırır, cücərtilərinin inkişafını stimullaşdırır.

Dissertasiya üzrə çap olunmuş elmi əsərlərin siyahısı:

1. Nanohissəciklərin bitkilərdə cücərmə prosesinə və cücərtilərin böyümə intensivliyinə təsiri / Görkəmli alim, əməkdar elm xadimi, prof. M.A.Axundovun anadan olmasının 110-cu ildönümü münasibəti ilə Gənc Alimlərin və Tədqiqatçıların «Müasir Biologiyanın İnnovasiya Problemləri» mövzusunda Beynəlxalq Elmi Konfransının Materialları (25-26 May), Bakı, 2012, s.29-32.
2. Əhmədov İ.S., Vəliyeva S.B. Nanohissəciklərin bitkilərdə toxumların cücərməsinə təsiri / Akademik Həsən Əliyevin 105 illik yubileyinə həsr olunmuş «Ekologiya: Təbiət və Cəmiyyət problemləri» II Beynəlxalq Elmi Konfransı, Bakı, 7-8 noyabr 2012, s.343-346.
3. Əhmədov İ.S., Ağayeva N.C. Bioloji membranlarla nanohissəciklərin qarşılıqlı təsir mexanizminin öyrənilməsi / «Fizikanın Aktual Problemləri» VII Respublika Elmi Konfransının Materialları, 26 noyabr 2012-ci il, Bakı, 2012, s.3-6.
4. Əhmədov İ.S., Vəliyeva S.B. Dəmir nanohissəciklərin bitkilərə sorulmasının EPR üsulu ilə tədqiqi və cücərtilərin inkişafına təsiri / Fizikanın Müasir Problemləri VI Respublika Konfransının Materialları, «Opto-, nanoelektronika, kondensə olunmuş mühit və yüksək enerjilər fizikası» 14-15 dekabr, Bakı, 2012, s.76-78.
5. Ahmadov I.S., Ramazanov M.A., Vəliyeva S.B. Impact of nanoparticles on plants seeds swelling and germination // Journal of Qafqaz University, Bakı, 2012, №34, p.46-54.
6. Ahmadov I.S., Ramazanov M.A., S.Q.Aliyeva. Fluorescence emission spectrum of elodea leaves exposed to nanoparticles // Journal of Qafqaz University, 1st International Chemistry and Chemical Engineering Conference, 17-21 april, Bakı, 2013, p.472-481.
7. Nanohissəciklərin bitki hüceyrələrinə daxil olmasının flüoressensiya şüalanması üsulu ilə tədqiqi / Görkəmli oftalmoloq alim, akademik Zərifə Əliyevanın 90-illik yubileyinə həsr olunmuş Gənc Alimlərin və Tədqiqatçıların «Müasir Biologiyanın İnnovasiya Problemləri» mövzusunda III Beynəlxalq Elmi Konfransının materialları (7-8 may), Bakı-2013
8. Əhmədov İ.S., Ramazanov M.A., Ağayeva N.C. Nanohissəciklərin

- bitki hüceyrələrinin membran potensialına və müqavimətinə təsiri // Journal of Qafqaz University, №35, Bakı, 2013, ...
9. Əhmədov İ.S., Ramazanov M.A., Eyvazova Q.M., Xəlilova G.Z. Bioloji və kimyəvi üsullarla sintez edilmiş gümüş nanohissəciklərinin xarakteristikalarının müqayisəli öyrənilməsi // BDU-nun xəbərləri. Təbiət elmləri seriyası, səh.51-59. Bakı-2013
 10. Əhmədov İ.S. Bitki homogenatlarında və göbələklərdə sintez olunan gümüş nanohissəciklərinin bitki hüceyrələrinin səth membranı ilə qarşılıqlı təsir mexanizminin tədqiqi / «Fizikanın Aktual Problemləri» Beynəlxalq Elmi Konfransının Materialları, 6 dekabr 2013-cü il, s.225
 11. Alüminium nanohissəciklərinin buğda cücərtilərinin yarpaqlarında flüoressensiya spektrlərinə təsiri / BDU-nun Biologiya fakültəsinin 80 illik yubileyinə həsr olunmuş «Eksperimental biologiyanın inkişaf perspektivləri» mövzusunda Respublika Elmi konfransının materialları (19-20 dekabr) Bakı-2014 səh.25-26
 12. Maharramov A.M., Ahmadov I.S., Ramazanov M.A., Aliyeva S.Q. Fluorescence emission spectrum of elodea leaves exposed to nanoparticles // Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology, 2015, Vol. 6, 135-143.
 13. Əhmədov İ.S., Ağayeva N.C. Nanohissəciklərin bitki hüceyrələrinə sorulması, orqanlarında hərəkəti və toplanması: nanofitotoksikologiya / «Fizikanın Aktual Problemləri» Respublika Elmi Konfransının Materialları, 17 dekabr, Bakı, 2015, s.3-8
 14. Ramazanov M.A., Ahmadov I.S., Ramazanli V.N., Agayeva N.J. Effect of nanoparticles on the activity of the electron ion pumps in plasma membrane of plant cells // Trends in Nanotechnology & Material Science. 2015, Vol. 1, Iss. 1, p.1-5
 15. Əhmədov İ.S., Ramazanlı V.N., Ramazanov M.Ə. Bitkilərdə nanohissəciklərin sorulması və orqanlarında hərəkəti // AMEA-nın Xəbərləri, biologiya və tibb elmləri. Bakı, C. 71, №1, 2016, s.135-141
 16. Ahmadov I.S., Ramazanov M.A., Ramazanli V.N., Agayeva N.C. Effect of nanoparticles on plants developing in saline soils / International conference: «Actual problems of modern chemistry and biology». Gandja, GSU, 12-13 May 2016, p.163-170

Ramazanli Vafa Nabi

**THE INVESTIGATION OF INFLUENCE MECHANISMS
IN PLANT CELLS OF NANOPARTICLES ON ELECTRICAL
PARAMETERS OF PLASMATIC MEMBRANES**

Summary

At the dissertation work depending on the type, size, concentration and exposure term of nanoparticles, their interaction mechanisms against cell wall and plasmatic membrane in plant cells, functional changes occurring at those structures, the entry of nanoparticles into the plant cells, their movement and accumulation in plant organisms have been studied, and it was possible to identify their toxic influence risk. It was determined that, nanoparticles depending on the size, forms and surface charges are adsorbed at various intensities and areas of cells. Nanoparticles mainly accumulate more at apical growth areas of root suckers (where protein synthesis is intensive). While the nanoparticles accumulate on the cell surface, serious changes weren't observed in the interior processes of cells, for eg. in the movement of protoplasma. But during long-term exposures the movement of protoplasma in cells stops and the cells get destroyed. It was determined that, CuO, Fe₂O₃ and ZnO nanoparticles affect differently on the plasmoliz process character and lasting term depending on the doses and exposure term. The strongest affect was observed during the influence of CuO nanoparticles.

It was determined that, nanoparticles, depending on their types, exposure term, sizes, and concentration change the electrical parameters of plasmatic membrane – membrane potential and membrane resistance during long-term exposure, but not during short-term. ZrO₂ nanoparticles reduce mainly H-ATPhase electrogen proton pump activity, but don't influence redox pump, and the less sizes the more influence effect. The influence of Al nanoparticles on the change kinetics of membrane potential doesn't depend on the light and dark regimes. Al+Ni nanopowders reduce the membrane potential in leaves remained in light and affect toxically on the physiological states of cells.

It was determined that, by EPR and chlorophyll fluoressence method, metal nanoparticles can adsorb into the plants and tissues, moving along the stem and leaves accumulate in organs. Depending on the types of plants nanoparticles can affect both stimulating and toxic on the seed hydration, germination capacity, and the development of sprouts. For eg. Al+Ni nanopowders can stop the development of bean sprouts, but doesn't affect on the growth intensity of maize sprouts. γ-Fe₂O₃ nanoparticles increase germination capacity of bean, lentils, wheat, pea seeds, stimulate the development of sprouts.

Вафа Наби кызы Рамазанлы

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ВЛИЯНИЯ НАНОЧАСТИЦ
НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПЛАЗМАТИЧЕСКОЙ
МЕМБРАНЫ КЛЕТОК РАСТЕНИЙ.**

Резюме

В диссертационной работе был исследован механизм взаимодействия наночастиц с плазматической мембраной и клеточной стенкой в клетках растений в зависимости от вида, размера, концентрации и времени экспозиции наночастиц, а также изучены функциональные изменения, происходящие в этих структурах, вхождение наночастиц в клетки растений, их движение и накопление в растительных органах и оценены риски их токсических воздействий.

Было установлено, что наночастицы в зависимости от их размеров, формы и поверхностных зарядов адсорбируются в различных областях клеток с различной интенсивностью. Наночастицы в основном накапливаются в апикальной зоне роста корневых волосков (в зоне интенсивного синтеза белка). Установлено, что наночастицы CuO , Fe_2O_3 и ZnO в зависимости от их дозы и времени экспозиции по разному влияют на характер и продолжительность процесса плазмолиза в клетке. Наибольший эффект был наблюден во время воздействия наночастиц CuO . Было выявлено, что наночастицы в зависимости от их вида, времени экспозиции, размеров и концентрации изменяют электрические параметры плазматической мембраны, в том числе мембранный потенциал и сопротивление мембраны клеток не во время кратковременных, а во время долговременных экспозиций. Наночастицы ZrO_2 уменьшают активность электрогенной протонной помпы H-ATFазы и не влияют на редокс помпу и с уменьшением размеров наночастиц ZrO_2 эффект еще больше усиливается. Влияние наночастиц Al на кинетику изменения мембранного потенциала не зависит от режимов света и темноты. Нанопорошки $\text{Al}+\text{Ni}$ уменьшают мембранный потенциал клетки, продержанных на свету листьев, и токсически влияют на физиологическое состояние клеток.

Методом ЭПР и флуоресценции было установлено, что наночастицы железа могут всасываться в растения и в их семена и оттуда, перемещаясь к стволу и листьям, накапливаются в органах. Так нанопорошки $\text{Al}+\text{Ni}$ останавливают развитие семян фасоли, однако не влияют на интенсивность прорастания семян кукурузы. Наночастицы $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ увеличивают способность прорастания семян фасоли, чечевицы, пшеницы и гороха, а также стимулируют развитие семян.

**Çapa imzalanmışdır 14.11.2016.
Kağız formatı 60x84 1/16. Sayı 100.**

«Bakı Universiteti» nəşriyyatı, Bakı, AZ 1148, Z.Xəlilov, 23.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
БАКИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

На правах рукописи

ВАФА НАБИ кызы РАМАЗАНЛЫ

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ВЛИЯНИЯ НАНОЧАСТИЦ
НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПЛАЗМАТИЧЕСКОЙ
МЕМБРАНЫ КЛЕТОК РАСТЕНИЙ**

2406.01 – Биофизика

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
доктора философии по биологии

Вакı – 2016