

Еуразиялық агротехникалық журнал = Евразийский агротехнический журнал. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2026. -№ 1 (129). - P.-144-155. - ISSN 3135-243X, 3135-2448

doi.org/ 10.51452/eaj.2026.1(129).2125

ЭОЖ 620.3:63:578.226(043.3)

Зерттеу мақалы

Нанобөлшектер – өсімдік ұлпаларын *in vitro* культивациялеу технологиясының элементі

Жагипарова М.Е. , Аникина И.Н. 

Торайғыров университеті, Павлодар, Қазақстан

Корреспондент-автор: Жагипарова М.Е.: e-mail: maira010579@mail.ru

Бірлескен автор: (1: ИА) anikina.i@mail.ru

Қабылданған күні: 14.01.2026 **Қабылданды:** 12.03.2026 **Жарияланды:** 30.03.2026

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Өлшемі, түрі және морфологиясы әртүрлі нанобөлшектер өсімдік шаруашылығындағы көптеген мәселелерді шешуге арналған тиімді препараттар ретінде, атап айтқанда тыңайтқыштар, өсуді реттегіштер және пестицидтер ретінде өз тиімділігін көрсетті. Нанобөлшектер өсу үдерісіне ынталандырушы әсер етіп, су мен қоректік элементтердің баяу босап шығуына ықпал етеді. Сондай-ақ олардың биоцидтік қасиеттері өсімдік ұлпалары культурасында қолданылуына негіз болды.

Материалдар мен әдістер. Шолуда әртүрлі элементтердің нанобөлшектерін модификацияланған қоректік орталардың компоненттері ретінде қолдануға арналған жарияланымдар талданып, түрлі өсімдік дақылдарының микроклондық көбейту тиімділігін арттыру рөлі қарастырылды. Зерттеу барысында нанобөлшектердің өсімдіктердің өсуі мен морфогенезіне тигізетін екіжақты әсері (өсуін ынталандырушы және фитотоксиктық қоректік ортада жүргізіліп, морфометриялық және физиологиялық көрсеткіштер кешенді түрде талданды.

Нәтижелер. Нанобөлшектердің (НБ) өсімдік жасушаларымен өзара әрекеттесу механизмдері, нанотыңайтқыштардың дәстүрлі формалармен салыстырғандағы артықшылықтары және НБ-дің әртүрлі түрлерін (металдар, олардың оксидтері, кремний, көміртекті материалдар) қоректік орталардың компоненттері ретінде, соның ішінде контаминация қаупін төмендету үшін пайдалану мүмкіндіктері қарастырылды. Тақырып бойынша жүргізілген шолу *in vitro* жағдайындағы өсімдік ұлпалары культурасында нанобөлшектердің көптеген артықшылықтарын айқындай отырып, сонымен бірге өсімдік биотехнологиясында наноматериалдарды қолдану дозалары мен тәсілдерін оңтайландыру үшін қосымша зерттеулердің қажеттігін көрсетті.

Қорытынды. Нанобөлшектерді пайдалану негізінде өсімдіктерді клондық микрокөбейту әдісін жетілдіру үлкен практикалық маңызы бар. Өйткені бұл биотехнологиялық тәсілдер арқылы жаңа сорттар мен формаларды қалыптастыру жұмыстарын неғұрлым тиімді жүргізуге, сондай-ақ өсімдіктердің генқорын сақтауға және бастапқы тұқым шаруашылығына арналған материалды көбейту қарқынын арттыруға мүмкіндік береді.

Кілт сөздер: *in vitro*; микроклондық көбейту; нанобөлшек; қоректік орта; өсу.

Кіріспе

Қазіргі ауыл шаруашылығы мен биотехнологияда зор әлеуетке ие нанобөлшектерді қамтитын препараттар кеңінен қолданыс табауда.

Нанобөлшектер – өлшемі 1-ден 100 нанометрге дейінгі бөлшектер. Олар бірегей қасиеттерге ие және медицина, электроника, катализ және антимикробтық материалдар сияқты әртүрлі салада кеңінен пайдаланылады. Өлшемінің кішілігіне байланысты нанобөлшектердің көлемге

салыстырғандағы беттік ауданы жоғары, бұл оларды реакцияға қабілетті етіп, басқа заттармен өзара әрекеттесуін күшейтеді [1].

Нанобөлшектердің физикалық, химиялық және биологиялық қасиеттері олардың өлшеміне, пішініне, құрылымына және беткі қабатының ерекшеліктеріне байланысты айтарлықтай өзгеруі мүмкін. Осы ерекшеліктері оларды әртүрлі ғылыми зерттеулерде және технологиялық үдерістерде тиімді қолдануға мүмкіндік береді. Қазіргі кезде нанобөлшектер ауыл шаруашылығы мен өсімдік биотехнологиясында да кеңінен зерттеліп келеді.

Экология мен биомедицина саласындағы нанобөлшектердің пайдалы қасиеттері жақсы танымал, бұл олардың ерекше физика-химиялық сипаттамаларымен, каталикалық тиімділігімен, фотохимиялық тұрақтылығымен және биологиялық сәйкестік қасиеттерімен түсіндіріледі [2]. Практикалық мақсаттар үшін көбіне нанобөлшектердің абсолюттік өлшеміне қарағанда олардың монодисперстілік дәрежесінің жоғары болуы маңызды, өйткені бөлшектердің өлшем бойынша тар үлестірімі кезінде қасиеттердің болжамдылығы мен қайталанымдылығына қол жеткізуге болады. *R. Liu* және *R. Lal* авторлары бөлшектердің өлшемі жасуша қабырғасы тесіктерінің (5-тен 20 нм дейін) өлшемінен кіші болған жағдайда нанобөлшектердің жасуша қабырғасының электрлі құрылымдары арқылы өсімдік жасушаларына тікелей ене алатынын көрсетті. Авторлардың пікірінше, нанобөлшектермен тасымалданатын қоректік заттарды пайдалану және цитоплазмамен одан арғы өзара әрекеттесу өсімдіктің тамыр жүйесі арқылы су-топырақ ерітіндісінде нанобөлшектердің еруі нәтижесінде қоректік элементтердің сіңірілу механизмдеріне жатады. Басқаша айтқанда, нанобөлшектер ерітіндіде жай ериді және қоректік заттарды ерігіш иондар түрінде босатады [3].

Сонымен бірге нанобөлшектердің әртүрлі өсімдік түріне әсері өсу кезеңіне, өсімдікке әсер ету тәсілі мен ұзақтығына байланысты едәуір өзгеруі мүмкін және НБ-дің формасына, өлшеміне, химиялық құрамына, концентрациясына, беттік құрылымына, агрегациясына және еруіне тәуелді [1, 3, 4].

Түрі, өлшемі және морфологиясы әртүрлі нанобөлшектер ауыл шаруашылығында тек тыңайтқыштар ғана емес, сонымен қатар өсуді реттегіштер мен пестицидтер ретінде де әлеуетті агенттер деп саналады. НБ өсімдіктердің өнімділігін арттыруда ынталандырушы әсер көрсетеді, себебі олар тұқымның өнуін жеделдетеді, судың және тыңайтқыштардың тиімді дозасының баяу босап шығуына ықпал етеді, ал нанокапсулалар гербицидтерді жеткізу және зиянкестермен күресу үшін пайдаланылады [5, 6].

НБ-дің жоғары сатыдағы өсімдіктерге әсерін зерттегенде әдебиеттерде қайшылықты нәтижелер келтіріледі: кейбір авторлар теріс әсерді көрсетсе, басқалары ынталандырушы әсерді айтады, ал үшіншілері мүлде әсердің жоқтығын тіркеген [7, 8].

Зерттеліп отырған мәселе бойынша АҚШ, Еуропа және Таяу Шығыс елдері, Қытай мен Үндістан зерттеушілерінің жарияланымдарында өсімдік экстракттарын пайдалана отырып мырыш оксиді, мыс және мыс оксиді, темір және темір оксиді, сондай-ақ марганец және марганец оксиді НБ-нің биосинтезі сипатталған, әрі аталған металдар мен олардың оксидтерін нанотыңайтқыштар және өсімдік шаруашылығына арналған препараттар ретінде қолдану жөнінде деректер берілген [9]. Металдар мен олардың оксидтерінің нанобөлшектерін тыңайтқыш ретінде қолдану, тыңайтқыш ретінде пайдаланылатын кәдімгі қосылыстармен салыстырғанда, неғұрлым тиімді екені көрсетілген [7].

Г.Ю. Рабинович пен *Н.А. Любимова* нанобөлшектерді өсімдік шаруашылығына арналған препараттар ретінде қолдану және олардың өсімдік ағзасына әсерін зерттей отырып, металдардың және олардың оксидтерінің нанобөлшектерін тыңайтқыш ретінде пайдалану, тыңайтқыш ретінде қолданылатын кәдімгі қосылыстармен салыстырғанда, неғұрлым тиімді екенін көрсетті. Авторлар мұны нанобөлшектердің өсімдік мембранасынан оңай өтуімен және дәстүрлі аналогтармен салыстырғанда өсімдіктер үшін қолжетімді формаға жеңілірек ауысуымен түсіндіреді. Сонымен қатар, жапырақтарда хлорофилл мөлшері артады, сондай-ақ кейбір биохимиялық үдерістер өзгеріп, мысалы, антиоксиданттық ферменттердің жиналуы өсімдіктердің стресс-төзімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Нанобөлшектердің өсімдікке оң әсері модельдік өсімдіктердің тамырлары мен өркендерінің ұзаруында және өскіндер биомассасының көбеюінде байқалды [10].

М. Panigrahy әріптестерімен көміртекті НБ-дің күріш өсімдігіне әсерін зерттеу барысында өңдеу өркен ұзындығының, тамыр саны мен ұзындығының, тұымжарнақтың ауданының, хлорофилл құрамы мен жалпы қант мөлшерінің артуына әкелетінін анықтады. Ересек өсімдіктерде бұл өсімдік бойының ұзаруына, бір өсімдікке шаққандағы өнімді өркендер санының көбеюіне, қалыптандырылған вегетациялық индекс пен өнімділіктің артуына себеп болды. Көміртекті нанобөлшектердің молекулалық механизм бойынша әсерін зерттегенде фитохром В транскриптінің айтарлықтай басылуы анықталды, бұл олардың өсімдіктердің фотосинтетикалық сигналдануына ықпал ету мүмкіндігін көрсетеді [11].

Материалдар мен әдістер

Жоғарғы сатыдағы өсімдіктердің ұлпа культурасы әртүрлі заттарды, соның ішінде нанобөлшектерді, сынақтан өткізу үшін қолайлы модель болып табылады, осыған байланысты нанобөлшектердің культуралық өсімдіктерге әсерін зерттеу бағыты үлкен қызығушылық тудырады [12].

Соңғы уақытта көптеген зерттеулерде өсімдіктердің микроклондық көбейтуде нанобөлшектерді қолданудың жоғары әлеуеті көрсетілді [12, 13].

НБ өсімдік жасуша культурасында оң әсерін дәлелдеді және осыған байланысты өсімдік биотехнологиясының әртүрлі аспектілеріне, оның ішінде жасушалық мәдениеттерді дезинфекциялау әдістеріне, каллустың дифференциациясына, генетикалық трансформацияларға, соматондық вариацияларға және екінші ретті метаболиттер өндірісіне елеулі ықпал ете алады [12, 13].

Гусев және т.б. зерттеулерінде металл негізіндегі нанобөлшектерді ағаш өсімдіктерін микроклондық көбейтуге арналған модификацияланған орталардың құрамында пайдалану қарастырылды. Қоректік орталарды модификациялау үшін Ag және CuO НБ-дің алынған су коллоидты су ерітінділері 0,1-ден 0,0001 г/л концентрацияларда пайдаланылды. Екі айлық культивациядан кейін тіндік культурасындағы өсімдіктер меристемаларының өсу үдерістеріне нанобөлшектер ерітінділерінің оң әсері байқалды. Зерттеулерде *Populus alba* пен *Populus × euramericana* будан формасының микроклондарының өміршеңдігі нанобөлшектер қоспай дайындалған қоректік ортамен салыстырғанда 20-10% жоғарылағаны көрсетілді, бұл тәсілдің болашағын көрсетеді [14].

Металл нанобөлшектерінің антимикробтық қасиеттері ерекше қызығушылық тудырады [9, 15]. Металл нанобөлшектерінің бактерияға қарсы белсенділігін зерттеуге бағытталған көптеген жұмыстар байланыспаған металл нанобөлшектерінің бактерия бетінің сыртқы мембранасының еруіне әсер ететінін көрсетті. Сонымен қатар, байланыспаған металл оксиді нанобөлшектері белсенді оттегі түрлерін туындататын тотығу стресін шақыратыны анықталды, бұл бактериялардағы жасушалық құрылымдардың бұзылуына және олардың өміршеңдігінің төмендеуіне әкелетін келеңсіз үрдіс болып табылады [15, 16].

Бұл бағытта ең кең таралғаны – Ag нанобөлшектері. Олардың тек бактериялар мен саңырауқұлақтарға ғана емес, сонымен қатар вирустарға қарсы да тамаша антимикробтық қасиеттерге ие екені дәлелденген [17, 18]. Ag НБ өзінің әсерін бактериялық мембраналарда перфорациялармен тесіктердің индукциясы арқылы білдіреді, бұл кезде метаболизм үшін маңызды жолдар бұзылып, соның нәтижесінде микроб жасушалары тіршілік жояды. Антимикробтық әсер басқа нанобөлшектерге қатысты да расталған. Мысалы, *Zhou et al.* ZnO-NP-тің қарсымикробтық агент ретінде тиімділігін көрсетті [2].

Өсімдік ұлпаларының *in vitro* культурасында қайталама контаминациямен күресу үшін нанобөлшектерді пайдалану зор қызығушылық туғызады, өйткені бұл мәселе ғылыми және өндірістік зертханалар үшін үлкен проблема болып табылады. Нанобөлшектердің биоцидтік агенттер ретінде тиімділігі бірнеше рет дәлелденген. Мысалы, TiO₂, Bi₂O₃, FeO, MnO₂, CuO, Ag₂O, Al₂O₃ нанобөлшектерінің қарсы микробтық белсенділігі медицинада тәжірибеде қолданылып жүр. Нанобөлшектерді өсімдік мәдениеттерінің *in vitro* микробтық контаминанттарымен күресте пайдалану клондық микрокөбейту саласында жаңа мүмкіндіктер ашады [16]. *In vitro* культурадан микробтарды жою, әсіресе ағаш өсімдіктері туралы сөз болғанда, өте үлкен мәселе, себебі олар

ішкі инфекцияны жинақтауға бейім. Нанобөлшектерді қолдану стерилизация протоколына енгізу кезінде де, сондай-ақ Мурасиге-Скуг қоректік ортасының құрамына қосқан кезде де оң әсер көрсеткен.

M.K. Sarmast және т.б. *Araucaria excelsa* экспланттарының бетін стерильдеуден кейін 200 мг/л AgNPs ерітіндісіне 180 минут бойы батыру ластану деңгейін 61,5%-дан 11,3% дейін төмендеткенін хабарлады. Мәдени ортаға 400 мг/л AgNPs енгізу ластануды 81,25%-дан 18,75% дейін азайтты [19]. Сондай-ақ 100 және 150 мг/л Ag NP қолдану - әрі батыру арқылы, әрі MS ортасына қосу арқылы - бадам×шабдалы буданының телітамырларында ішкі және сыртқы ластануды айтарлықтай төмендететіні анықталды [20].

M.N. Helaly және авторлар 80% NaOCl, 95% EtOH және 0,1% HgCl₂ қолданылған 15 минуттық беткі стерильдеу кезінде 3 жылдық банан өркендерінен алынған өркен ұштары микробтық ластануды жоя алмағанын хабарлады. MS ортаға 100 мг/л Zn NPs немесе ZnO NPs енгізу ластанудан таза мәдениеттер алуға алып келді [21]. Спинозо-Кастильо және т.б. MS ортасы 50-200 мг/л Ag NP-пен байытылғанда *Vanilla planifolia* өркендері мәдениеттерінде ластанудың нөлдік деңгейде болғанын хабарлады [22].

In vitro культурасы *in vivo* жағдайына көшіру кезеңінде нанобөлшектерді қолдану үлкен мүмкіндік ашады. Оларды пайдалану культуралық өсімдіктердің жерсіну пайызын арттыратыны анықталған: көкжидекті микрокөбейту кезінде AgNP қосу көшіріп отырғызудан кейін өркендердің көбею жылдамдығын жақсартты, бұл культуралық өсімдіктердің бейімделу қасиеттерінің артқанын көрсетеді [23]. Бақылау өсімдіктерімен (44,44%) салыстырғанда, күміс нанобөлшектерінің әсеріне ұшыраған өсімдіктердің өміршеңдігі едәуір жоғары болды (93,65%).

Күміс нанобөлшектерінің *in vitro* ұлпа мәдениетіне оң әсерінің мысалы ретінде экспланттарды дезинфекциялау бойынша басқа эксперимент нәтижелерін де келтіруге болады [16, 17]. Бірқатар зерттеулерде НБ-дің каллус индукциясына, регенерацияға және өсімдік өркендерінің өсуіне оң әсері көрсетілген. *A. Gouran* және т.б. асептикалық жағдайда *Tecomella undulata* өсудің қасиеттеріне 5-80 мг/л концентрациядағы күміс НБ-дің жеке өзі немесе 6-бензиламино-пуриин және индолсірке қышқылымен (индолуксусная кислота) біріктіріліп әсерін бағалады. Экспланттар 10% Слогх қолданылып 7-8 мин бойы беткі стерильдеуден өткізілді. Нәтижелер MS ортаға 10 мг/л Ag НБ қосу орташа жаңа өркендер санын, өркен түзетін экспланттардың пайызын, сондай-ақ НБ-дің этилен түзілуін тежеуші әсері есебінен өсімдіктердің өміршеңдігін арттырғанын көрсетті. MS ортасы 60 мг/л Ag НБ, 2,5 мг/л 6-бензиламинопуриин және 0,1 мг/л индолсірке қышқылымен байытылғанда *T. undulata* түйіндік экспланттарын культивациялау индуцирленген өркендердің ұзындығы мен түзілген өркендер пайызын айтарлықтай арттырды [24].

Mentha longifolia өсімдіктерін клондық микрокөбейту кезінде модификацияланған MS ортаға 0,5 мг/л НБ Cu және 0,8 мг/л НБ Со қосу өсімдіктердің биіктігі мен өсу индексін 45-48,4%, буынаралық саны 29,4-33,9%, өркен саны 55,6-66,2% арттырды, ал көбейту коэффициенті 30-40% болды [17]. *A. Gouran* және авторлар НБ CuO-ны 10 мг/л концентрацияда қосу күріш мәдениеттерінде органогенез жылдамдығын 94% дейін арттырғанын хабарлады. Авторлар өсімдік ұлпа мәдениеттеріндегі микробтық ластануды жоюдағы НБ тиімділігі олардың түріне және ұлпалардағы өлшемдік үлестіріміне тәуелді екенін атап өтті.

Зерттеулердің перспективасы бағыттарының бірі – микроклондық көбейтудің тиімділігін арттыру мақсатында (мысалы, MS негізіндегі) модификацияланған қоректік орталарға кремний нанобөлшектерін қосу. Кремний нанобөлшектері картоптың *in vitro* мәдениеттерінің өсуі мен дамуына оң әсер етіп, морфогенезді, стрестерге төзімділікті және өсімдіктердің жалпы физиологиялық жай-күйін жақсарты алады.

Кәрзеңке және т.б. *in vitro* жағдайында селен (Se) нанобөлшектерінің, кремний диоксиді (SiO₂) нанобөлшектерінің және трикальцийфосфатының (Ca₃(PO₄)₂) микрожапырақшалардың (*Chrysanthemum × morifolium* Ramat.; *Ficus carica* L.; *Fragaria × ananassa* Dushesne; *Lamium glaberrimum* K. Koch Taliev және *L. Rosa* өсуі мен дамуына әсерін зерттеді. Экспланттарды культивациялау әртүрлі концентрациядағы НБ қосылған Мурасиге-Скуг (MS) ортасында жүргізілді. Аталған зерттеулерде НБ-дің *in vitro* морфогенезге әсері зерттелген дақылдың генотипіне, қолданылған НБ түрі мен концентрациясына байланысты әрқелкі екені анықталды. Se НБ бақ хризантемасының, інжірдің және *Lamium glaberrimum*-нің микрожапырақшаларының

өсуі мен жапырақ түзуіне оң әсер ететіні көрсетілді. Se НБ бар ортада өсірілген өсімдіктердің жапырақтарындағы хлорофилл а және b мөлшерін талдау бақылау және тәжірибелік нұсқалар арасында елеулі айырмашылық көрсетпеді. Ерекше жағдай ретінде құлпынай мен раушан атап өтілді: қоректік ортадағы 0,5 мг/л Se НБ концентрациясы құлпынайда хлорофилл а/b мандерін 2,079/0,618 мг/г 1,272/0,293 мг/г, ал раушанда 3,125/0,896 мг/г 1,76/0,453 мг/г дейін төмендетті. SiO₂ НБ-дің 4,0 және 5,0 мг/л концентрациялары інжір экспланттарында адвентивті өркен түзілуіне оң әсер етті. Зерттелген ТКФ НБ концентрациялары өсімдіктердің габитусына әсер еткенімен, өркен түзілуін ынталандырмады. Сонымен бірге, зерттеуде қарастырылған Se, SiO₂ және Ca₃(PO₄)₂ НБ концентрациялары зерттелген дақылдарда өркен түзілуінің индукциясына елеулі әсер етпейтіні анықталды.

Нәтижелер және талқылау

Өсімдіктердің микроклондық көбейтуі нанобөлшектердің өсімдіктердің физиологиялық үдерістеріне, морфологиялық өзгерістеріне және өсімдіктер үшін уыттылықтың бар-жоқтығына әсерін зерттеу үшін пайдаланылуы мүмкін [12, 13].

Осындай технологияларды қолдану арқылы алынған күміс нанобөлшектерін пайдалану бағыттарының бірі – өсімдік өсуін реттейтін жаңа препараттарды әзірлеу. Белоруссиялық зерттеушілер М.А. Фомина мен А.О. Черныш 0,1 және 0,3 мг/л концентрацияларында жүргізген тәжірибе нәтижелері бойынша, бақылаумен салыстырғанда, күміс нанобөлшектерінің ынталандырушы әсерін анықтады [25].

Spiraea salicifolia өсімдігін құрамында 0,1 мг/л нанобөлшектер бар ортада культивациялау кезінде өсу процестерінің статистикалық тұрғыдан дәлелді стимуляциясы байқалды; бұл әсер МС ортасында тіркелді. Нанобөлшектер тамыр түзуге жетерліксіз әсер етті. Сынақталған ең жоғары концентрацияларда (100 мг/л және 300 мг/л) Ag НБ *Spiraea salicifolia* культурасының өсуін тежеді. Әртүрлі орталарда *Spiraea salicifolia* өсуін салыстыру нәтижесінде мынадай заңдылық байқалды: өсуінің бастапқы кезеңінде WPM ортасында өсірілген микрокесінділер ұзынша өркендермен сипатталды, ал МС ортасында өсіргенде өркендердің ұзаруы байқалмады. Дегенмен бұл айырмашылық 30 тәулікке қарай іс жүзінде жойылып, экспланттар бір-бірінен аз ғана ерекшеленді [26]. Талдау нәтижесінде авторлар төмен концентрацияларда нанобөлшектердің ынталандырушы, ал жоғары концентрацияларда тежеуші әсері туралы қорытынды жасады. Әдеби деректерге сүйене отырып, күміс нанобөлшектері ағаш өсімдіктері кесінділерінің төзімділігі мен тамырлануын арттырудың тиімді құралы бола алатыны, *in vitro* жағдайында өсімдіктерді зақымдайтын контаминациялаушы инфекцияларға қарсы биоцидтік препарат ретінде әрекет ете алатыны анықталды.

Бірқатар зерттеулерде күміс нанобөлшектерінің өсімдік жасушаларындағы антиоксиданттық жүйеге, ферменттердің белсенділігіне және фотосинтетикалық аппараттың жұмысына әсер ететіні көрсетілген. Төмен концентрацияларда олар жасушалық метаболизмді белсендіріп, өркендердің түзілуін және биомассаның жиналуын ынталандыруы мүмкін. Ал жоғары концентрацияларда реактивті оттегі түрлерінің шамадан тыс түзілуіне байланысты жасушалық стресс туындап, өсу процестері баяулайды немесе толық тежелуі мүмкін. Сондықтан нанобөлшектердің концентрациясын дұрыс таңдау микроклондық көбейту технологияларында маңызды факторлардың бірі болып саналады.

Күміс нанобөлшектерін қолдану өсімдіктердің *in vitro* культурасында өсуді реттеу, регенерацияны арттыру және микробтық контаминацияны төмендету мақсатында перспективалы бағыт ретінде қарастырылады. Дегенмен олардың өсімдіктерге ұзақ мерзімді әсерін, мүмкін болатын фитоуыттылығын және әртүрлі өсімдік түрлеріне тән жауап реакцияларын тереңірек зерттеу қажет.

Чжао Хуэй, Лю Минь, Ю. Чэнь және т.б. металдар нанобөлшектерін пайдаланып өсімдіктерді өсіру тәсілін және оны іске асыруға арналған арнайы қоректік ортаны сипаттады. Өнертабыстың мәні мынада: қоректік ортада микроэлементтердің дәстүрлі, еритін тұздар түріндегі формалары (мысалы, темір, мыс немесе мырыш сульфаттары) сәйкес металдардың электрондық бейтарап формадағы нанобөлшектерімен алмастырылады [27]. Бұл шешім қоректік ортаның уыттылығын

едәуір төмендетуге, микроэлементтердің өсімдіктермен сіңірілу тиімділігін арттыруға және физиологиялық үдерістерді белсендіруге мүмкіндік береді. Нанобөлшектер зарядтарының бейтараптығы мен өлшемдерінің шағын болуының арқасында өсімдік ұлпаларына еркін еніп, олар арқылы тарала алады. Бұл иондық формалармен салыстырғанда әлдеқайда төмен дозаларды – дәстүрлі концентрациялардан 10-50 есе аз мөлшерлерді – қолдануға мүмкіндік береді.

Авторлардың пікірінше, нанобөлшектері бар қоректік орта *in vitro* жүйелерде (мысалы, агарда өсіру кезінде), сондай-ақ гидропоника мен аэропоника сияқты топырақсыз технологияларда қолданылуы мүмкін. Ол көшет материалын немесе ұлпа мәдениеттерін өсіруге де жарамды. Аталған технологияны қолдану тұқымның өнуін жеделдетуде, тамыр жүйесінің дамуын жақсартуда, хлорофилл құрамын арттыруда және жалпы алғанда өсімдіктердің өсуі мен дамуын белсендіруде көрініс табады [28].

E.H. Dehkourdi және *M. Mosavi* зерттеулерінде *in vitro* жағдайда ақжелкен (*Petroselinum crispum*) тұқымдарының өнуіне титан диоксиді (TiO_2 , анатаздық форма) нанобөлшектерінің әсері зерттелді [29]. Жұмыстың мақсаты – TiO_2 нанобөлшектері өсімдік дамуының бастапқы сатыларына ынталандырушы немесе тежегіш әсер көрсете ала ма, соны анықтау. Ақжелкен тұқымдарына әртүрлі концентрациядағы TiO_2 нанобөлшектері қосылып, бақылаудағы (нанобөлшектер әсер етпеген) топпен салыстырылып, бақыланатын зертханалық жағдайларда өсірілді. Авторлар титан диоксиді нанобөлшектерінің тұқымның өну үдерісіне айқын ықпал ететінін анықтады: TiO_2 -нің белгілі бір концентрацияларында бақылаумен салыстырғанда өніп шығу пайызы мен жылдамдығының артуы байқалды, бұл нанобөлшектердің ынталандырушы әсерін көрсетеді. Алайда концентрация артқан сайын әсер керісінше болды – жоғары дозалар өсуін тежеуге және тұқымдардың өміршеңдігінің төмендеуіне әкелді, бұл оңтайлы деңгейден асып кеткен кезде уыттылықтың мүмкін екенін білдіреді.

Зерттеу нәтижесінде төмен концентрациядағы титан диоксиді нанобөлшектері тұқымның өнуін жақсарту арқылы өсімдіктің өсуінің бастапқы сатыларының тиімділігін арттыруға ықпал ете алатыны, алайда олардың әсері дозаға және қолдану жағдайларына қатты тәуелді екені туралы қорытынды жасалды [30].

Өсімдік ұлпалары культурасы нанобөлшектерді қолдануға негізделген қоректік ортаны жетілдіру көбейтуді жеделдетуге, селекциялық жұмыстың тиімділігін арттыруға және қажетті белгілері бар өсімдіктерді таңдаудың дәлдігін көтеруге мүмкіндік береді. Бұл өсу мен дамуға арналған оңтайлы жағдайларды жасау есебінен іске асады, соның нәтижесінде әрі қарай селекцияға арналған генетикалық біртекті материалдың көп мөлшерін жылдам алуға, сондай-ақ маңызды агрономиялық сипаттамалары бар өсімдіктерді зерттеу мен іріктеуге жол ашады [31].

Қорытынды

Жүргізілген әдебиетке шолу талдау нанобөлшектердің өсімдік биотехнологиясы мен ауыл шаруашылығындағы елеулі әлеуетін көрсетеді. Оларды қолдану элементтердің бақыланатын босатылуы бар аса тиімді тыңайтқыштар жасаудан бастап, *in vitro* культурасында морфогенез үдерістерін ынталандыруға және өсімдіктерді абиотикалық әрі биотикалық стресстерден қорғауға дейінгі кең ауқымды міндеттерді шешуге мүмкіндік береді. Нанобөлшектерді пайдалану негізіндегі өсімдіктерді микроклондық көбейту әдістемесін жетілдіру үлкен практикалық маңызға ие, өйткені бұл әдіс адам үшін маңызды әртүрлі бағыттарда кеңінен қолданылады. Сол бағыттардың бірі – микрокөбейту: генетикалық тұрғыдан бірдей өсімдіктердің көп мөлшерін жылдам алуға мүмкіндік береді, ол селекция үшін де, бастапқы тұқым шаруашылығы үшін де маңызды [32].

Әдіс генетикалық инженерияның негізі болып қызмет етеді: оның көмегімен, мысалы, *CRISPR* технологиясын пайдалана отырып, өсімдіктер геномына өзгерістер енгізіліп, жаңа, төзімді және жоғары өнімді сорттар жасалады. Бұдан бөлек, әдіс биоалуантүрлілікті сақтау үшін қолданылады: криосақтау арқылы сирек және жойылып бара жатқан өсімдіктердің ұлпалары мен жасушаларын ұзақ уақытқа сақтап, олардың қорғалуын және болашақта қалпына келтіру мүмкіндігін қамтамасыз етуге болады. Үдерістің барлық кезеңдерінде өсімдіктердің биотехнологиялық материалын қалыптастыру тиімділігін арттыру үшін нанобөлшектердің артықшылықтарын қолдануға болады. Нанотехнологиялар өсімдік ұлпаларын *in vitro* культивирлеу технологияларының тиімділігін

біршама арттыра алатын болашағы зор бағыт болып табылады. Қазіргі таңда зерттеушілер нанобөлшектердің түрін, мөлшерін және концентрациясын оптимизациялау арқылы өсімдік өсуі мен дамуын барынша арттыру жолдарын іздестіруде. Нанобөлшектердің қауіпсіздігі мен экологиялық әсерін бағалау маңызды, себебі оларды өндірістік масштабта қолдану алдында жан-жақты зерттеу қажет. Алдағы уақытта бұл бағыт ауыл шаруашылығында және биотехнология саласында инновациялық шешімдерге жол ашуы мүмкін.

Нанобөлшектерді қолдану өсімдіктердің физиологиялық белсенділігін арттыруға, қоректік элементтердің сіңірілуін жақсартуға және жасушалық деңгейдегі биохимиялық процестерді реттеуге ықпал етуі мүмкін. Кейбір зерттеулер нанобөлшектердің антиоксиданттық жүйенің белсенділігін күшейтіп, өсімдіктердің стресс факторларға төзімділігін арттыратынын көрсетеді.

Нанобөлшектер өсімдіктердің ұлпа культураны стерильділікті сақтауға көмектесетін антимикробтық агенттер ретінде де қарастырылады. Бұл *in vitro* жағдайда жиі кездесетін микробтық контаминация мәселесін азайтуға мүмкіндік береді және регенерация процесінің тиімділігін арттыруға ықпал етеді.

Болашақта бұл бағыттағы зерттеулердің кеңеюі жаңа биостимуляторлар мен тиімді агротехнологияларды әзірлеуге мүмкіндік беріп, ауыл шаруашылығы өндірісінің тұрақтылығы мен өнімділігін арттыруға үлес қосуы мүмкін.

Авторлардың қосқан үлесі

МЖ: өсімдік ұлпаларын *in vitro* культивирлеу бойынша эксперименттік жұмыстарды жүргізді, алынған деректерді талдап және интерпретациялау, мақала қолжазбасын дайындады. ИА: зерттеуге ғылыми жетекшілік етті, әдістемелік кеңес беріп, нәтижелерді талдауға қатысты, мақаланың мәтінін редакциялап және соңғы нұсқасын бекітті.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Khan, S., Zahoor, M., Khan, R.S., Ikram, M., Islam, N.U. (2023). The impact of silver nanoparticles on the growth of plants: The agriculture applications. *Heliyon*, 9(6), e16928, DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e16928.
- 2 Zhou, X.-Q., Hayat, Z., Zhang, D.-D., Li, M.-Y., Hu, S., Wu, Q., Cao, Y.-F., Yuan, Y. (2023). Zinc Oxide Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Modification, and Applications in Food and Agriculture". *Processes*, 11:4, 1193. DOI: 10.3390/pr11041193.
- 3 Liu, R., Lal, R. (2015). Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the Total Environment*, 514, 131-139. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.01.104.
- 4 Rajput, V., Minkina, T., Mazarji, M., Shende, S., Sushkova, S., Mandzhieva, S., Burachevskaya, M., Chaplygin, V., Singh, A., Jatav, H. (2020). Accumulation of nanoparticles in the soil-plant systems and their effects on human health. *Ann. Agric. Sci.*, 65, 137-143. DOI: 10.1016/j.aos.2020.08.001.
- 5 Maruyama, CR, Guilger, M., Pascoli, M., Bileshy José, N., Abhilash, P.C., Fraceto, L.F., de Lima, R. (2016). Nanoparticles Based on Chitosan as Carriers for the Combined Herbicides Imazapic and Imazapyr. *Scientific Reports*, 6, 19768. DOI: 10.1038/srep19768.
- 6 Husen, A., Siddiqi, K.S. (2014). Nanomaterials and plant growth: Recent advances and applications. *Environmental Chemistry Letters*, 12(2), 165-175.
- 7 Любимова, Н.А., Рабинович, Г.Ю. (2023). Биосинтез наночастиц металлов и их апробация на семенах льна-долгунца. Известия вузов. *Прикладная химия и биотехнология*, 13(2), 263-271.
- 8 Серікбай, А.Т., Агеев, Д.В., Айтқулов, А.М. (2023). Анатомические показатели проростков *Pisum sativum* при воздействии макро- и наночастиц цинка. *Вестник Карагандинского университета имени академика Е.А. Букетова*, 2(110), 124-129. DOI: 10.31489/2023BMG2/124-129.
- 9 Сейтханова, К.К., Аникина, И.В. (2024). Методы биосинтеза наночастиц металлов и перспективы применения в растениеводстве. *Вестник Северо-Казахстанского университета им. М. Козыбаева*, 2(62), 151-165. DOI: 10.54596/2958-0048-2024-2-151-165.

10 Рабинович, Г.Ю., Любимова, Н.А. (2021). Биосинтез наночастиц металлов и оксидов металлов и их использование в качестве компонентов удобрений и препаратов для растениеводства (обзор литературы). *Аграрная наука Евро Северо-Востока*, 22:5, 627-640.

11 Panigrahi, M.K. (2021). Investigation of Structural, Morphological, Resistivity of Novel Electrical Insulator: Industrial Wastes. *Bulletin of Scientific Research*, 3(1), 51-58. DOI:10.34256/bsr2116.

12 Lahiani, M.H., Gokulan, K., Williams, K., Khare, S. (2021). Ex Vivo Human Colon Tissue Exposure to Pristine Graphene Activates Genes Involved in the Binding, Adhesion and Proliferation of Epithelial Cells. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(21).

13 Ali, A., Mashwani, Z.U.R., Raja, N.I., Mohammad, S., Ahmad, M.S., Luna-Arias, J.P. (2024). Exposure of *Caralluma tuberculata* to biogenic selenium nanoparticles as in vitro rooting agent: Stimulates morpho-physiological and antioxidant defense system. *Plos one*, 19(4), e0297764. DOI: 10.1371/journal.pone.0297764.

14 Гусев, А.А., Захарова, О.В., Колесникова, Е.О., Васюкова, И.А., Евтушенко, Н.А. (2018). Использование наночастиц на основе металлов в составе модифицированных сред для микрклонального размножения древесных растений: предварительные результаты. *Лесотехнический журнал*, 8(4 (32)), 6-11.

15 Ameen, F., Alsamhary, K., Alabdullatif, J.A., Al Nadhari, S. (2021). A review on metal-based nanoparticles and their toxicity to beneficial soil bacteria and fungi, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 213, 112027. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.112027.

16 Kim, D.H., Gopal, J., Sivanesan, I. (2017). Nanomaterials in plant tissue culture: the disclosed and undisclosed. *RSC Adv.*, 7, 36492-36505.

17 Abdi, G.H., Salehiand, H., Khosh-Khui, M. (2008). Nano silver: a novel nanomaterial for removal of bacterial contaminants in valerian (*Valeriana officinalis* L.) tissue culture. *Acta Physiol. Plant.*, 30, 709-714.

18 Singh, T.A., Sharma, A., Tejwan, N., Ghosh, N., Das, J., Sil, P.C. (2021). A State-of-the-Art Review on the Synthesis, Antibacterial, Antioxidant, Antidiabetic and Tissue Regeneration Activities of Zinc Oxide Nanoparticles. *Adv. Colloid Interface Sci.*, 295, 102495.

19 Sarmast, M.K., Salehi, H., Khosh-Khui, M. (2011). Nano silver treatment is effective in reducing bacterial contaminations of *Araucaria excelsa* R. Br. var. *glauca* explants. *Acta biologica Hungarica*, 62(4), 477-484. DOI:10.1556/ABiol.62.2011.4.12.

20 Tamimi, S., Othman, H.S. (2023). Silver nanoparticles for enhancing the efficiency of micropropagation of banana (*Musa acuminata* L.). *Trop. Life Sci. Res.*, 34, 161-175. DOI: 10.21315/tlsr2023.34.2.8.

21 Helaly, M.N. (2014). Effect of nanoparticles on biological contamination of in vitro cultures and organogenic regeneration of banana. *Australian Journal of Crop Science*, 8(4), 612-624.

22 Yaqoob, A.A., Ahmad, H., Parveen, T., Ahmad, A., Oves, M., Ismail, I.M.I., Qari, H.A., Umar, K., Mohamad, I.M.N. (2020). Recent Advances in Metal Decorated Nanomaterials and Their Various Biological Applications: A Review. *Frontiers in Chemistry*, 8, 341. DOI:10.3389/fchem.2020.00341.

23 Arab, M.M., Yadollahi A., Hosseini-Mazinani, M., Bagheri, S. (2014). Effects of antimicrobial activity of silver nanoparticles on in vitro establishment of G×N15 (hybrid of almond×peach) rootstock. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 12(2), 103-110.

24 Gouran, A. et al. (2014). *Effect of silver nanoparticles on grapevine leaf explants sterilization at in vitro conditions*. Isfahan. Iran: 1-6.

25 Фомина, М.А., Черныш, А.О. (2023). Влияние серебряных наночастиц различного происхождения на рост и развитие *Spiraea salicifolia* L., культивируемой в условиях *in vitro*. *Белорусский государственный университет*, 19-24.

26 Spinoso-Castillo, J.L., Chavez-Santoscoy, R., Bogdanchikova, N., Pérez-Sato, J.A., Morales-Ramos, V., Bello-Bello, J.J. (2017). Antimicrobial and hormetic effects of silver nanoparticles on in vitro regeneration of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) using a temporary immersion system. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 129(2), 195-207. DOI:10.1007/s11240-017-1169-829.

27 Способ выращивания растений с использованием наночастиц металлов и питательная среда для его осуществления. Патент РФ № 2015154325 Чжао Хуэй; Лю Минь; Чень Ю. и др. Патентообладатель(и): Общество с ограниченной ответственностью "ШеньжоуСпейсБайтек

нолоджиГрупп"(CN), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук (ИБХФ РАН) (RU), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт энергетических проблем химической физики им. В.Л. Тальрозе Российской академии наук заяв: 17.12.2015 оуб: 06.03.2017. Бюл. № 7.

28 Tejada-Alvarado, J.J., Meléndez-Mori, J.B., Vilca-Valqui, N.C., Huaman-Huaman, E., Lapiz-Culqui, Y.K., Neri, J.C., et al. (2022). Optimizing factors influencing micropropagation of 'Bluecrop' and 'Biloxi' blueberries and evaluation of their morphophysiological characteristics during ex vitro acclimatization. *J. Berry Res.*, 12, 347-364. DOI: 10.3233/JBR-211565.

29 Dehkourdi, E.H., Mosavi, M. (2013). Effect of anatase nanoparticles (TiO₂) on parsley seed germination (*Petroselinum crispum*) in vitro. *Biological Trace Element Research*, 155, 283-286.

30 Cuong, D.M., Du, P.C., Tung, H.T., Ngan, H.T.M., Luan, V.Q., Phong, T.H., et al. (2021). Silver nanoparticles as an effective stimulant in micropropagation of *Panax Vietnamensis* - a valuable medicinal plant. *Plant Cell Tissue Organ Culture*, 146, 577-588. DOI: 10.1007/s11240-021-02095-2.

31 Tamimi, S., Othman, H.S. (2023). Silver nanoparticles for enhancing the efficiency of micropropagation of banana (*Musa acuminata* L.). *Trop. Life Sci. Res.*, 34, 161-175. DOI: 10.21315/tlsr2023.34.2.8.

32 Guru, G.R., Ramteke, P.W., Veres, C., Vágvölgyi, C. (2025) Potential impacts of nanoparticles integration on micropropagation efficiency: current achievements and prospects. *Front. Plant Sci.*, 16, 1629548. DOI: 10.3389/fpls.2025.1629548.

References

1 Khan, S., Zahoor, M., Khan, R.S., Ikram, M., Islam, N.U. (2023). The impact of silver nanoparticles on the growth of plants: The agriculture applications. *Heliyon*, 9(6), e16928, DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e16928.

2 Zhou, X.-Q., Hayat, Z., Zhang, D.-D., Li, M.-Y., Hu, S., Wu, Q., Cao, Y.-F., Yuan, Y. (2023). Zinc Oxide Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Modification, and Applications in Food and Agriculture". *Processes*, 11:4, 1193. DOI: 10.3390/pr11041193.

3 Liu, R., Lal, R. (2015). Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the Total Environment*, 514, 131-139. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.01.104.

4 Rajput, V., Minkina, T., Mazarji, M., Shende, S., Sushkova, S., Mandzhieva, S., Burachevskaya, M., Chaplygin, V., Singh, A., Jatav, H. (2020). Accumulation of nanoparticles in the soil-plant systems and their effects on human health. *Ann. Agric. Sci.*, 65, 137-143. DOI: 10.1016/j.aos.2020.08.001.

5 Maruyama, C.R., Guilger, M., Pascoli, M., Bileshy José, N., Abhilash, P.C., Fraceto, L.F., de Lima, R. (2016). Nanoparticles Based on Chitosan as Carriers for the Combined Herbicides Imazapic and Imazapyr. *Scientific Reports*, 6, 19768. DOI: 10.1038/srep19768.

6 Husen, A., Siddiqi, K.S. (2014). Nanomaterials and plant growth: Recent advances and applications. *Environmental Chemistry Letters*, 12(2), 165-175.

7 Lyubimova, N.A., Rabinovich, G.Ju. (2023). Biosintez nanochastic metallov i ih aprobaciya na semenah l'na-dolgunca. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya himiya i biotehnologiya*, 13(2), 263-271.

8 Cerikbay, A.T., Ageev, D.V., Aitkulov, A.M. (2023). Anatomicheskie pokazateli prorostkov *Pisum sativum* pri vozdejstvii makro- i nanochastic cinka. *Vestnik Karagandinskogo universiteta imeni akademika E.A. Buketova*, 2(110), 124-129. DOI: 10.31489/2023BMG2/124-129.

9 Seithanova, K.K., Anikina, I.V. (2024). Metody biosinteza nanochastic metallov i perspektivy primeneniya v rasteniyevodstve. *Vestnik Severo-Kazhastanskogo Universiteta im. M. Kozybaeva*, 2(62), 151-165. DOI: 10.54596/2958-0048-2024-2-151-165.

10 Rabinovich, G.J.u, Lyubimova, N.A. (2021). Biosintez nanochastic metallov i oksidov metallov i ih ispol'zovanie v kachestve komponentov udobrenij i preparatov dlja rasteniyevodstva (obzor literatury). *Agrarnaya nauka Evro Severo Vostoka*, 22:5, 627-640.

11 Panigrahi, M.K. (2021). Investigation of Structural, Morphological, Resistivity of Novel Electrical Insulator: Industrial Wastes. *Bulletin of Scientific Research*, 3(1), 51-58. DOI:10.34256/bsr2116.

12 Lahiani, M.H., Gokulan, K., Williams, K., Khare, S. (2021). Ex Vivo Human Colon Tissue Exposure to Pristine Graphene Activates Genes Involved in the Binding, Adhesion and Proliferation of Epithelial Cells. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(21).

13 Ali, A., Mashwani, Z.U.R., Raja, N.I., Mohammad, S., Ahmad, M.S., Luna-Arias, J.P. (2024). Exposure of *Caralluma tuberculata* to biogenic selenium nanoparticles as in vitro rooting agent: Stimulates morpho-physiological and antioxidant defense system. *Plos one*, 19(4), e0297764. DOI: 10.1371/journal.pone.0297764.

14 Gusev, A.A., Zaharova, O.V., Kolesnikova, E.O., Vasjukova, I.A., Evtushenko, N.A. (2018). Ispol'zovanie nanochastic na osnove metallov v sostave modifitsirovannykh sred dlya mikroklonal'nogo razmnozheniya drevesnykh rastenii: predvaritel'nye rezul'taty. *Lesotekhnicheskii zhurnal*, 8(4 (32)), 6-11.

15 Ameen, F., Alsamhary, K., Alabdullatif, J.A., Al Nadhari, S. (2021). A review on metal-based nanoparticles and their toxicity to beneficial soil bacteria and fungi, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 213, 112027. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.112027.

16 Kim, D.H., Gopal, J., Sivanesan, I. (2017). Nanomaterials in plant tissue culture: the disclosed and undisclosed. *RSC Adv.*, 7, 36492-36505.

17 Abdi, G.H., Salehiand, H., Khosh-Khui, M. (2008). Nano silver: a novel nanomaterial for removal of bacterial contaminants in valerian (*Valeriana officinalis* L.) tissue culture. *Acta Physiol. Plant.*, 30, 709-714.

18 Singh, T.A., Sharma, A., Tejwan, N., Ghosh, N., Das, J., Sil, P.C. (2021). A State-of-the-Art Review on the Synthesis, Antibacterial, Antioxidant, Antidiabetic and Tissue Regeneration Activities of Zinc Oxide Nanoparticles. *Adv. Colloid Interface Sci.*, 295, 102495.

19 Sarmast, M.K., Salehi, H., Khosh-Khui, M. (2011). Nano silver treatment is effective in reducing bacterial contaminations of *Araucaria excelsa* R. Br. var. *glauca* explants. *Acta biologica Hungarica*, 62(4), 477-484. DOI:10.1556/ABiol.62.2011.4.12.

20 Tamimi, S., Othman, H.S. (2023). Silver nanoparticles for enhancing the efficiency of micropropagation of banana (*Musa acuminata* L.). *Trop. Life Sci. Res.*, 34, 161-175. DOI: 10.21315/tlsr2023.34.2.8.

21 Helaly, M.N. (2014). Effect of nanoparticles on biological contamination of in vitro cultures and organogenic regeneration of banana. *Australian Journal of Crop Science*, 8(4), 612-624.

22 Yaqoob, A.A., Ahmad, H., Parveen, T., Ahmad, A., Oves, M., Ismail, I.M.I., Qari, H.A., Umar, K., Mohamad, I.M.N. (2020). Recent Advances in Metal Decorated Nanomaterials and Their Various Biological Applications: A Review. *Frontiers in Chemistry*, 8, 341. DOI:10.3389/fchem.2020.00341.

23 Arab, M.M., Yadollahi A., Hosseini-Mazinani, M., Bagheri, S. (2014). Effects of antimicrobial activity of silver nanoparticles on in vitro establishment of G×N15 (hybrid of almond×peach) rootstock. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 12(2), 103-110.

24 Gouran, A. et al. (2014). *Effect of silver nanoparticles on grapevine leaf explants sterilization at in vitro conditions*. Isfahan. Iran: 1-6.

25 Fomina, M.A., Chernysh, A.O. (2023). Vliyanie serebrianykh nanochastic razlichnogo proishozhdeniya na rost i razvitie *Spiraea salicifolia* L., kultiviruemoi v usloviyah in vitro. *Belorusskii gosudarstvennyi universitet*, 19-24.

26 Spinoso-Castillo, J.L., Chavez-Santoscoy, R., Bogdanchikova, N., Pérez-Sato, J.A., Morales-Ramos, V., Bello-Bello, J.J. (2017). Antimicrobial and hormetic effects of silver nanoparticles on in vitro regeneration of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) using a temporary immersion system. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 129(2), 195-207. DOI:10.1007/s11240-017-1169-829.

27 Sposob vyrashhivaniya rastenii s ispol'zovaniem nanochastic metallov i pitatel'naya sreda dlja ego osushhestvleniya. Patent RF № 2015154325 Chzhao Hujiej; Lju Min'; Chen' Ju. i dr. Patentoobladatel'(i): Obshchestvo s ogranichennoi otvetstvennost'yu "Shen'zhouSpejsBajteknolodzhiGrup"(CN), Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe uchrezhdenie nauki Institut biokhimicheskoi fiziki im. N.M. Emanujelyja Rossiiskoi akademii nauk (IBHF RAN) (RU), Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe uchrezhdenie nauki Institut energeticheskikh problem himicheskoi fiziki im. V.L. Tal'roze Rossijskoj akademii nauk zayav: 17.12.2015 pub: 06.03.2017. Bjul. № 7.

28 Tejada-Alvarado, J.J., Meléndez-Mori, J.B., Vilca-Valqui, N.C., Huaman-Huaman, E., Lapiz-Culqui, Y.K., Neri, J.C., et al. (2022). Optimizing factors influencing micropropagation of 'Bluecrop' and 'Biloxi' blueberries and evaluation of their morphophysiological characteristics during ex vitro acclimatization. *J. Berry Res.*, 12, 347-364. DOI: 10.3233/JBR-211565.

29 Dehkourdi, E.H., Mosavi, M. (2013). Effect of anatase nanoparticles (TiO₂) on parsley seed germination (*Petroselinum crispum*) in vitro. *Biological Trace Element Research*, 155, 283-286.

30 Cuong, D.M., Du, P.C., Tung, H.T., Ngan, H.T.M., Luan, V.Q., Phong, T.H., et al. (2021). Silver nanoparticles as an effective stimulant in micropropagation of *Panax Vietnamensis* -a valuable medicinal plant. *Plant Cell Tissue Organ Culture*, 146, 577-588. DOI: 10.1007/s11240-021-02095-2.

31 Tamimi, S., Othman, H.S. (2023). Silver nanoparticles for enhancing the efficiency of micropropagation of banana (*Musa acuminata* L.). *Trop. Life Sci. Res.*, 34, 161-175. DOI: 10.21315/tlsr2023.34.2.8.

32 Guru, G.R., Ramteke, P.W., Veres, C., Vágvölgyi, C. (2025) Potential impacts of nanoparticles integration on micropropagation efficiency: current achievements and prospects. *Front. Plant Sci.*, 16, 1629548. DOI: 10.3389/fpls.2025.1629548.

Наночастицы, как элемент технологии культивирования растительных тканей *in vitro*

Жагипарова М.Е., Аникина И.Н.

Аннотация

Предпосылки и цель. Наночастицы различного типа, размера и морфологии проявили свою эффективность в качестве эффективных препаратов для решения многих проблем растениеводства в качестве удобрений, регуляторов роста и пестицидов. Наночастицы оказывают стимулирующее влияние на прорастание, способствуют медленному высвобождению эффективной дозировки воды и питательных элементов. Что, как и биоцидные свойства наночастиц послужило толчком для использования наночастиц в культуре растительных тканей.

Материалы и методы. В ходе анализа литературы были использованы платформы Google scholar, Elsevier, eLibrary. В обзоре проанализированы публикации по использованию наночастиц различных элементов в качестве компонентов модифицированных питательных сред с целью повышения эффективности микрклонального размножения различных видов растительных культур. В ходе исследования проанализированы двойственные эффекты наночастиц, на развитие растений *in vitro*: от стимуляции роста до фитотоксического действия.

Нәтижелер. Рассмотрены механизмы взаимодействия НЧ с растительными клетками, преимущества нанодобровений перед традиционными формами и перспективы использования различных типов НЧ (металлов, их оксидов, кремния, углеродных материалов) в качестве компонентов питательных сред в том числе для снижения рисков контаминации. Обзор подчеркивает многочисленные преимущества наночастиц в культуре растительных тканей *in vitro*, вместе с тем показана необходимость дальнейших исследований для оптимизации доз и методов применения наноматериалов в биотехнологии растений.

Заклучение. Совершенствование методики клонального микроразмножения растений на основе использования наночастиц имеет большую практическую значимость, так как это позволит повысить эффективность работ по созданию новых сортов и форм растений биотехнологическими методами, а также сохранению генофонда растений и темпов наращивания исходного материала для первичного семеноводства.

Ключевые слова: *in vitro*; микрклональное размножение; наночастица; питательная среда; рост.

Nanoparticles as a component of *in vitro* plant tissue culture technology

Maira E. Zhagiparova, Irina N. Anikina

Abstract

Background and Aim. Nanoparticles of various types, sizes, and morphologies have demonstrated high potential as promising agents for addressing numerous challenges in crop production, functioning as fertilizers, growth regulators, and pesticides. Nanoparticles can stimulate seed germination and promote the gradual release of optimal amounts of water and nutrients. These properties, together with the biocidal activity of nanoparticles, have stimulated interest in the application of nanoparticles in *in vitro* plant tissue culture.

Materials and Methods. The literature review was conducted using the Google Scholar, Elsevier, and eLibrary databases. This review analyzes publications on the use of nanoparticles of various elements as components of modified nutrient media aimed at improving the efficiency of microclonal propagation of different plant species. The study examines the dual effects of nanoparticles on plant development *in vitro*, ranging from growth stimulation to phytotoxicity.

Results. The mechanisms of interaction between nanoparticles and plant cells, the advantages of nanofertilizers over conventional formulations, and the prospects for using different types of nanoparticles (metals, oxides, silicon, and carbon-based materials) as components of nutrient media, including their potential to reduce contamination risks, are discussed. The review highlights the numerous advantages of nanoparticles in *in vitro* plant tissue culture, while also emphasizing the need for further research to optimize nanoparticle dosages and application methods in plant biotechnology.

Conclusion. Improving clonal micropropagation techniques through the use of nanoparticles is of significant practical importance, as it can enhance the efficiency of developing new plant varieties and forms using biotechnological approaches, contribute to the conservation of plant genetic resources, and increase the rate of propagation of source material for primary seed production.

Keywords: *in vitro*; microclonal propagation; nanoparticles; nutrient medium; growth.