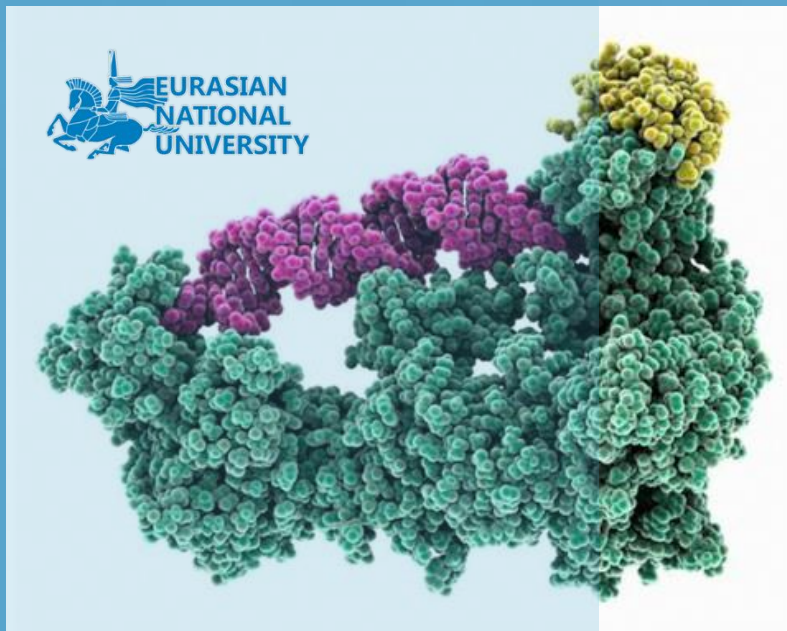


ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ



Л. Н. ГУМИЛЕВА АТЫНДАҒЫ
ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

ЕВРАЗИЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Л. Н. ГУМИЛЕВА

АСТАНА, ҚАЗАҚСТАН
14 СӘУІР 2023 ЖЫЛ

АСТАНА, КАЗАХСТАН
14 АПРЕЛЯ 2023 ГОД

"ОМАРОВ ОҚУЛАРЫ: ХХІ
ҒАСЫРДЫҢ БИОЛОГИЯ ЖӘНЕ
БИОТЕХНОЛОГИЯСЫ" АТТЫ
ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ
ФОРУМНЫҢ БАЯНДАМАЛАР
ЖИНАҒЫ

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
МЕЖДУНАРОДНОГО НАУЧНОГО
ФОРУМА "ОМАРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ:
БИОЛОГИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ
ХХІ ВЕКА"

УДК 57 (063)
ББК 28.0
Ж 66

Жалпы редакцияны басқарған т.ғ.д., профессор Е.Б. Сыдықов
Под редакцией д.и.н., профессора Е.Б. Сыдыкова

Редакция алқасы:
Редакционная коллегия:

Ж.К. Масалимов, А.Б. Курманбаева, А.Ж. Акбасова, С.Б. Жангазин, Н.Н. Иқсат.

«Омаров оқулары: ХХІ ғасыр биология және биотехнологиясы» халықаралық ғылыми форумының баяндамалар жинағы. – Астана: Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 2023. – 298 б., қазақша, орысша, ағылшынша.

Сборник материалов международного научного форума «Омаровские чтения: Биология и биотехнология ХХІ века». – Астана. Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, 2023. – 298 с., казахский, русский, английский.

ISBN 978-601-337-847-3

Жинақ «Омаров оқулары: ХХІ ғасыр биология және биотехнологиясы» атты халықаралық ғылыми форумына қатысушылардың баяндамаларымен құрастырылған. Бұл басылымда биология, биотехнология, молекулалық биология және генетиканың маңызды мәселелері қарастырылған. Жинақ ғылыми қызметкерлерге, PhD докторанттарға, магистранттарға, сәйкес мамандықтағы студенттерге арналған.

Сборник составлен по материалам, представленным участниками международного научного форума «Омаровские чтения: Биология и биотехнология ХХІ века». Издание освещает актуальные вопросы биологии, биотехнологии, молекулярной биологии и генетики. Сборник рассчитан на научных работников, PhD докторантов, магистрантов, студентов соответствующих специальностей.



УДК 57
ББК 28
О-58

©Коллектив авторов, 2023
©Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, 2023

4. Sneideris, L.C.; Gavassi, M.A.; Campos, M.L.; Damico-Damiao, V.; Carvalho, R.F. (2015). Effects of hormonal priming on seed germination of pigeon pea under cadmium stress. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 87, 1847–1852.
5. Chandrasekaran U, Luo X, Wang Q, Shu K. (2020). Are there unidentified factors involved in the germination of nano-primed seeds? *Front Plant Sci.*;11:832.
6. Hatami M, Kariman K, Ghorbanpour M. (2016). Engineered nanomaterial-mediated changes in the metabolism of terrestrial plants. *Sci Total Env.*;571:275–91.
7. Khodakovskaya, M.; Dervishi, E.; Mahmood, M.; Xu, Y.; Li, Z.; Watanabe, F.; Biris, A.S. (2009). Carbon Nanotubes Are Able To Penetrate Plant Seed Coat and Dramatically Affect Seed Germination and Plant Growth. *ACS Nano*; 3, 3221–3227.
8. Dileep Kumar, G.; Raja, K.; Natarajan, N.; Govindaraju, K.; Subramanian, K.S. (2020). Invigoration Treatment of Metal and Metal Oxide Nanoparticles for Improving the Seed Quality of Aged Chilli Seeds (*Capsicum annum L.*). *Mater. Chem. Phys.*, 242, 122-492.

УДК 58.02

ӨСІМДІКТЕРДЕГІ МЫРЫШТЫҢ ГИПЕРАККУМУЛЯЦИЯСЫ: ШОЛУ МАҚАЛАСЫ

Жолбарыс Айман Айтбаевна, Арыстанова Шолпан Ескуатовна
Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
zholbarys98aiman@mail.ru

Кіріспе. Мырыш (Zn) тірі организмдердегі темірден кейін екінші орын алатын өтпелі металл [1]. Zn өзінің құрылымдық, каталитикалық және белсендіру функцияларына байланысты өсімдіктердің дамуында, көбеюінде және сигнал беруінде маңызды рөл атқарады [2]. Zn сонымен қатар карбоангидраза, карбоксипептидаза және Zn-супероксид дисмутаза сияқты көптеген ферменттердің кофакторы ретінде әрекет етеді [3].

Көптеген ауылшаруашылық дақылдары үшін қалыпты өсу үшін қажетті типтік мырыш концентрациясы құрғақ салмақта шамамен 15-20 мг/кг құрайды [4]. Бұл концентрациялардан басқа Zn флора, фауна және адамдарға улы болуы мүмкін. Өсімдіктерде мырыштың уыттылығы оның биожетімділігімен артады. Соңғысы оның биожетімділігін шектейтін немесе көтермелейтін рН, тамыр экссудаты, микробтық қауымдастықтар және топырақтың органикалық заттары сияқты әртүрлі факторларға байланысты [5]. Zn артық болуы өсімдіктердің дамуын өзгертуі мүмкін. Дегенмен, кейбір өсімдіктер сезімтал өсімдіктер мүмкін емес Zn жоғары ортада өсу қабілетін дамытты [6]. Гипераккумуляторлар деп аталатын бұл өсімдіктердің кейбіреулері өздерінің ауа бөліктерінде мырыштың көп мөлшерін жинақтау қабілетіне ие. Zn гипераккумуляциясының механизмдерін физиологиялық, биохимиялық және молекулалық деңгейде түсіну үшін ғалымдар алдымен модельдік өсімдіктерді Zn гипераккумуляторлары деп анықтады [7,8]. Қазіргі уақытта Zn гипераккумуляторлары ретінде тек 28 түрі сипатталған.

Бұл шолуда Zn ластануының әртүрлі көздерін және оның биожетімділігіне әсер ететін параметрлері талданады. Сондай-ақ өсімдіктің өсуі мен дамуына артық Zn әсерінің негізінде жатқан әртүрлі зерттеулер қарастырылады. Бұл шолуда гипераккумулятор өсімдіктердегі Zn-ге физиологиялық және молекулалық бейімделулері де қарастырылады.

Мырыштың көздері және биожетімділігі. Топырақта мырыш әртүрлі формада, негізінен бос ион (Zn^{2+} және $ZnOH^+$) түрінде немесе органикалық заттармен комплекстер түрінде кездеседі. Zn топырақтың коллоидты фракциясында да гумусты қосылыстармен, гидратталған темір және алюминий оксидтерімен қосылып немесе екінші реттік минералдар мен ерімейтін кешендердің құрамында кездеседі. Коллоидтық фракцияда табылған Zn-тың ең басым түрлері бейтарап сульфат $ZnSO_4$ және фосфат $ZnHPO_4$ [9].

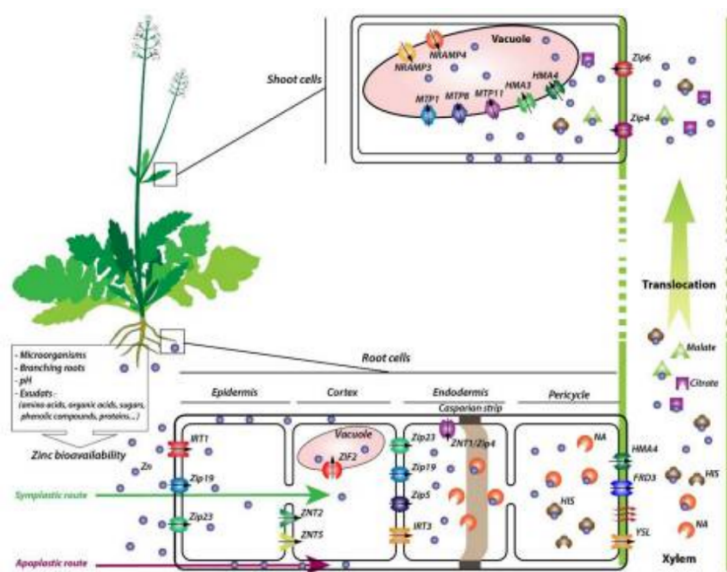
Zn биожетімділігі негізінен адсорбция-десорбция құбылыстарымен және сұйық/қатты күйдегі ерігіштік қатынасымен бақыланады. Zn биожетімділігі көптеген факторларға, атап айтқанда, рН, химиялық және минералогиялық құрамына, топырақтың органикалық заттарына, тамыр экссудаттарына және ризосферадағы микробтық қауымдастықтарға байланысты [8, 9, 10]. Топырақтың рН мөлшері мырыштың топырақта таралуына және сортталуына әсер ететін негізгі фактор болып табылады, өйткені ол мырыштың топырақ ерітіндісіндегі ерігіштігі мен сорбциясына әсер етеді [11]. Әдетте, Zn сілтілі рН-ға қарағанда қышқылдық рН кезінде биожетімділігі жоғары. Zn^{2+} бейтарап рН кезінде (7,7-ден төмен) Zn басым түрі болып табылады, ал $ZnOH^+$ рН 7,7–9,1 кезінде болады. Жоғарыда бейтарап түрі $Zn(OH)_2$ басым [12]. Топырақтың рН-ның шамалы өзгеруі топырақтағы мырыштың ерігіштігіне үлкен әсер етеді.

Топырақтағы мырыштың болуын бақылауда органикалық заттар басты рөл атқарады. Бұл уақыт өте келе Zn шығару және топырақтың физика-химиялық қасиеттерін өзгерту арқылы Zn қолжетімділігін жақсартады, бұл оның тамырлармен сіңірілуін арттырады. Тамырдың ризосферамен әрекеттесетіні белгілі. Шынында да, тамыр белсенділігі рН, микробтық белсенділік, химиялық тепе-теңдік, қозғалғыштық және биожетімділік сияқты ризосфера топырақ қасиеттерінің бірнеше модификациясын тудырады [13,14]. Бұл өзгерістер қоректік заттар мен металл қорларын өзгертетін тамыр экссудаттарынан туындайды. Тамыр экссудаттарын тамыр жасушалары топыраққа, соның ішінде төмен молекулалық салмаққа бөледі қосылыстар (амин қышқылдары, органикалық қышқылдар, қанттар, фенолды қосылыстар) және макромолекулалық қосылыстар (полисахаридтер мен белоктар). Medas және басқалар [15] тамыр экссудаты *Euphorbia pithyusa* L. *Arabidopsis halleri*, Tsednee және т.б. [16] тамырлар никотианаминді (НА) бөлетінін байқады, ол негізгі хелатор болып табылады, ол Zn ерігіштігін жақсартуға және осылайша Zn жинақталуына пайдалы әсер етеді. *Hordeum vulgar*, *Lolium perenne* L. және әртүрлі қосжарнақты түрлерінде тамырлар мырышпен кешен түзуге қабілетті органикалық молекулалар түзеді, осылайша оның қозғалғыштығын жеңілдетеді [17,18,19].

Ризосфералық микробтық қауымдастықтар топырақтағы жергілікті және экзогендік Zn биожетімділігіне әсер ететін маңызды фактор болып табылады. Бактериялардың ішінде *Acinetobacter*, *Bacillus*, *Gluconacetobacter* және *Pseudomonas* тұқымдастарына жататын түрлер мырыш еріткіштері ретінде сипатталған. Ризосфера микробиотасының мырыш ерітуін жақсартатын механизмдерге топырақ рН төмендету, Zn хелаттандыру немесе тамырдың өсуін жақсарту жатады. Бұл механизмдер бір микроорганизмнен екіншісіне қарай ерекшеленеді. Кейбір микроорганизмдер осы механизмдердің бірін қолдана алады, ал басқалары бірнеше механизмдерді қолдана отырып, өсімдіктердің мырыш қабылдауын жақсарта алады [20]. Сонымен қатар, ризосферада микроорганизмдердің, атап айтқанда жіп тәрізді саңырауқұлақтардың болуы өсімдіктердің абиотикалық кернеулерге төзімділігін арттырады [21]. Мысалы, *Nocceae* праесох-та арбускулярлы микоризамен отарлау өркеннің тамырға Zn қатынасын арттырды, бұл тамыр жүйесімен Zn жақсы сіңірілуін көрсетеді [22].

Мырыштың артық мөлшерінің өсімдік дамуына әсері. Zn барлық ағзалар үшін маңызды қоректік элемент болып табылады. Ол өсімдік жасушаларында спирт дегидрогеназа, карбоангидраза және РНҚ полимераза сияқты көптеген ферменттерді белсендіру үшін қажет [4, 22]. Zn сонымен қатар мембраналық ақуыздардың фосфолипидтері мен сульфгидрил топтарымен әрекеттесу арқылы биомембраналарды тұрақтандыруға қатысады. Ол протеосинтезге, көмірсулар алмасуына, липидтер мен нуклеин қышқылының синтезіне ықпал ете алады [23]. Сонымен қатар, Zn оттегі радикалдарын өндіруде, сондай-ақ оларды детоксикациялауда шешуші рөл атқарады. Zn Cu-Zn-SOD ферментінің синтезіне қатысады, мембраналық липидтер мен ақуыздарға зиян келтіруі мүмкін улы O-2 радикалдарын жоюға қатысатын негізгі фермент [4, 22]. Cu-Zn-SOD негізінен хлоропласттарда локализацияланған; кейбір өсімдіктерде тилакоид люменінде орналасса, басқаларында тилакоидпен байланысады. Жоғары концентрацияда Zn улы болады. Яәне және басқалары [24] 0,075 mM Zn өңдеудің *A. thaliana* өсімдіктерінің дамуына әсер етпейтінін, ал Zn 0,1 mM жоғары концентрацияларда улы болатынын көрсетті.

Zn токсикалық әсері оның сыртқы биожегімділік концентрациясына, әсер ету уақытына, өсімдік генотипіне және өсімдіктің даму кезеңіне байланысты. Өсімдіктерде кездесетін Zn уыттылығының ең айқын белгілері жас жапырақтардың бойларының өсуінің тоқтауы және хлорозы (мүмкін, Fe 2+ және Fe 3+ азырақ сіңірілуінің салдары болуы мүмкін), бұл кейбір жағдайларда жасушалардың өліміне әкелуі мүмкін. Өсудің өзгеруі митоздың тежелуінің салдары болып табылады. Zn артық болуы сәйкесінше *Saccharum spp* және *Triticum aestivum L* митоздық индексінің айтарлықтай төмендеуіне әкелетіні хабарланды [25, 26]. Митоздық белсенділіктің бұл төмендеуі ДНҚ синтезінің тежелуіне байланысты болуы мүмкін (Сурет 1).



Сурет 1 - Мырышпен (Zn) әсер еткенде гипераккумуляцияланатын өсімдіктерде болатын механизмдердің моделі: Zn ионын сіңіру, хелациялау, тасымалдау және секвестрлеу

Zn биожегімділігіне микроорганизмдер, тармақталған тамырлар, рН және эксудат сияқты бірнеше факторлар әсер етуі мүмкін. Тамырлармен адсорбцияланғаннан кейін Zn апопластикалық жолмен: жасушалар арқылы пассивті диффузиямен немесе тасымалдаушылар арқылы симпластикалық жолмен алынуы мүмкін. Соңғы жолдың ішінде эпидермис жасушаларының Zn қабылдауы негізінен

IRT1, ZIP19 және ZIP23 арқылы жеңілдетіледі. Кортекске жету үшін Zn тікелей немесе ZNT2 және ZNT5 арқылы таралуы мүмкін. Содан кейін Zn вакуольдерде жиналуы мүмкін (ZIF2 көмегімен) немесе келесі тасымалдаушылар арқылы эндодермаға тасымалданады: ZIP23, ZIP19, ZIP5 және IRT3. Апопластикалық жолдан кейінгі Zn каспарлық жолақпен тоқтатылады, содан кейін ZNT1/ZIP4 арқылы эндодермаға енеді. Бұл деңгейде Zn никотианаминмен (NA) хелатталуы мүмкін немесе перицикл жасушаларына тікелей диффузиялануы мүмкін, бұл жерде бір бөлігі гистидинмен (His) байланысуы мүмкін. Хеляцияланбаған Zn ксилемаға тікелей диффузия немесе YSL, ақаулы темір редуктаза 3 (FRD3) және HMA4 арқылы жетуі мүмкін. Содан кейін Zn ксилеманы Zn-сіз формада немесе Хиспен, цитратпен немесе малатпен біріктіреді. Жапырақ жасушаларына кіру үшін Zn пассивті түрде хелатталған пішіндерде немесе ZIP4 және ZIP6 ақуыздары арқылы Zn-сіз формада енеді. Содан кейін ол MTP1 (металл төзімділік ақуыздары 1), MTP8, MTP11, NRAMP3, NRAMP4, HMA3 және HMA4 тасымалдаушылары арқылы вакуоль ішінде секвестрленеді немесе жасуша қабырғасында блокталады. Zn никотианаминмен (NA) хелатталған болуы мүмкін немесе перицикл жасушаларына тікелей диффузиялануы мүмкін, оның бір бөлігі гистидинмен (Оның) байланысуы мүмкін. Хеляцияланбаған Zn ксилемаға тікелей диффузия немесе YSL, ақаулы темір редуктаза 3 (FRD3) және HMA4 арқылы жетуі мүмкін. Содан кейін Zn ксилеманы Zn-сіз формада немесе Хиспен, цитратпен немесе малатпен біріктіреді. Жапырақ жасушаларына кіру үшін Zn пассивті түрде хелатталған пішіндерде немесе ZIP4 және ZIP6 ақуыздары арқылы Zn-сіз формада енеді. Содан кейін ол MTP1 (металл төзімділік ақуыздары 1), MTP8, MTP11, NRAMP3, NRAMP4, HMA3 және HMA4 тасымалдаушылары арқылы вакуоль ішінде секвестрленеді немесе жасуша қабырғасында блокталады. Zn никотианаминмен (NA) хелатталған болуы мүмкін немесе перицикл жасушаларына тікелей диффузиялануы мүмкін, оның бір бөлігі гистидинмен (Оның) байланысуы мүмкін. Хеляцияланбаған Zn ксилемаға тікелей диффузия немесе YSL, ақаулы темір редуктаза 3 (FRD3) және HMA4 арқылы жетуі мүмкін. Содан кейін Zn ксилеманы Zn-сіз формада немесе Хиспен, цитратпен немесе малатпен біріктіреді. Жапырақ жасушаларына кіру үшін Zn пассивті түрде хелатталған пішіндерде немесе ZIP4 және ZIP6 ақуыздары арқылы Zn-сіз формада енеді. Содан кейін ол MTP1 (металл төзімділік ақуыздары 1), MTP8, MTP11, NRAMP3, NRAMP4, HMA3 және HMA4 тасымалдаушылары арқылы вакуоль ішінде секвестрленеді немесе жасуша қабырғасында блокталады. Жапырақ жасушаларына кіру үшін Zn пассивті түрде хелатталған пішіндерде немесе ZIP4 және ZIP6 ақуыздары арқылы Zn-сіз формада енеді. Содан кейін ол MTP1 (металл төзімділік ақуыздары 1), MTP8, MTP11, NRAMP3, NRAMP4, HMA3 және HMA4 тасымалдаушылары арқылы вакуоль ішінде секвестрленеді немесе жасуша қабырғасында блокталады. Жапырақ жасушаларына кіру үшін Zn пассивті түрде хелатталған пішіндерде немесе ZIP4 және ZIP6 ақуыздары арқылы Zn-сіз формада енеді. Содан кейін ол MTP1 (металл төзімділік ақуыздары 1), MTP8, MTP11, NRAMP3, NRAMP4, HMA3 және HMA4 тасымалдаушылары арқылы вакуоль ішінде секвестрленеді немесе жасуша қабырғасында блокталады.

Zn гипераккумуляторлары. Өсімдіктердің дамуына ауыр металдардың улы әсеріне қарамастан, өсімдіктердің бірнеше түрлері топырақта әдетте фитоуытты деп саналатын металдардың жоғары концентрациясымен күресудің әртүрлі стратегияларын әзірледі. Өскіндердегі металдардың жиналуы осы стратегиялардың бірін білдіретін табиғи таңдалған процесс [27]. Кейбір өсімдіктер құрғақ массасының 1%-дан астамына дейін ауа бөліктерінде Zn, никель (Ni), марганец (Mn) немесе қорғасын (Pb) сияқты металдардың қалыптан тыс жоғары концентрациясын жинақтау қабілетімен белгілі [25]. Бұл өсімдіктер гипераккумуляторлар деп аталады. Әртүрлі

ауыр металдардың гипераккумуляторлары ретінде 450-ге жуық өсімдік түрі анықталған. Металдар өркендерге қарай жылжиды және жер үсті мүшелерінде, негізінен жапырақтарда жиналады. Мырыш гипераккумуляторлы өсімдіктер табиғи ортада өскен кезде олардың ауа бөліктерінде 10 000 ppm құрғақ салмақ жинай алады. Мысалы, *Arabidopsis halleri* және *Noccaea caerulescens* құрамында мырышқа бай металдар бар топырақта өскен кезде 13620 және 43710 ppm Zn-ге дейін өте жоғары Zn концентрациясын жинақтау қабілеті бар [28]. Сонымен қатар, *Dichapetalum subsp. sumaranum* және *D. subsp. шаш мантиясы* - бұл олардың жапырақтарында тиісінше 15,660 және 26,360 ppm мырыш жинай алатын күшті мырыш гипераккумуляторлары [29]. Басқа зерттеушілер Zn жинақтау деңгейі 3000 ppm асатын өсімдіктерді гипераккумуляторлар деп санауды ұсынды. Мысалы, 6300 ppm Zn жинай алатын *Thlaspi ochroleucum* физиологиялық ауытқуы бар және гипераккумуляторлы түр болып саналады [30]. Тиісінше, басқа зерттеушілер өсімдіктерді өркен мен тамырдағы металл концентрациясының арақатынасына қарай жіктейді және өркеннің тамырға қатынасы > 1 болатын өсімдіктер әдетте мырыш гипераккумуляторлары болып табылады, ал аккумуляторлық емес өсімдіктерде өркеннен тамырға мырыш қатынасы 1-ден аз болады деп есептейді [31].

Zn гипераккумуляцияланатын өсімдіктердегі физиологиялық және биохимиялық реакциялар. Мырышқа төзімді өсімдіктер хлороз, некроз белгілерінсіз немесе өсудің қатты басылуынсыз мырышқа бай ортада өсу қабілетімен сипатталады. Биомасса өндірісін мырыштың ең жоғары дозаларында (0,5 мМ) ұстап тұру *Sedum alfredii* мырышқа төзімділігін көрсетеді [32]. *Noccaea caerulescens*-де Zn-ге төзімділік сезімтал бақылаушы өсімдіктермен салыстырғанда PS II тұрақтылығында көрінеді [31].

Гипераккумуляторлы өсімдіктер металдың биожетімділігін жақсарту үшін тамыр экссудаттарын шығарады. Органикалық материалдар, соның ішінде төмен молекулалық қосылыстар (амин қышқылдары, органикалық қышқылдар, қанттар, фенолдық қосылыстар) және жоғары молекулалық қосылыстар (полисахаридтер мен белоктар) қышқылдану және/немесе хелаттардың секрециясы арқылы Mn-ды топырақтан жұмылдырады [33]. *Sedum alfredii* гипераккумуляторы экссудатқа еріген органикалық заттарды шығарады және Zn-ді комплексті және экстракциялау қабілеті жоғарырақ. Оның үстіне, *S. alfredii* негізінен ризосферада металды белсендіру үшін осы механизмдерді пайдаланады [34]. Сонымен қатар, *Dessureault-Romppe* және т.б. [35] металдарда еріген топырақтың органикалық заттарының жылжымалы кешендері гипераккумуляцияланатын *N. caerulescens* ризосферасындағы қолжетімді Zn бассейндерін жылдам ауыстыруда маңызды рөл атқаратынын ұсынды. Мырыш сонымен қатар *N. caerulescens* тамырларында цитрат өндірісін ынталандыра алады [36].

Сонымен қатар, Цеднее және т.б. [36] және Лейтенмайер мен Куппер [27] никотианаминнің (НА) түбірлік секрециясы *A. halleri*дің Zn төзімділігін жақсартатынын хабарлады. *A. halleri* *A. thaliana* (төзімсіз) қарағанда НА көп бөледі. *A. Galleri*де өсімдіктерге Zn артық әсер еткенде НА синтезі жоғарылайды. Ху және басқалар [37] артық Zn мырыш аккумуляторы *Solanum nigrum* тамырларында азот оксидінің (NO) жиналуын тудыратынын хабарлады. Zn сутегі асқын тотығы (H_2O_2) және супероксид радикалдарын қоса алғанда, ROS түзілуін индукциялайды. ROS өндірісінен болатын зиянды азайту үшін *S. alfredii* және *N. caerulescens* сияқты гипераккумулятор түрлері аскорбин қышқылы мен глутатионның жоғары концентрациясын және каталаза, пероксидаза және аскорбат пероксидаза сияқты антиоксиданттық ферменттерді шығарады [38, 39].

Метаболит синтезі де ауыр металдардың уыттылығын болдырмау үшін гипераккумуляторлы өсімдіктер пайдаланатын стратегиялардың бірі болып табылады [40]. Глутатион (GSH) мөлшері металл емес популяциямен салыстырғанда *S. alfredii* құрамында металлы бар популяцияда жоғарылады және Zn детоксикациясына қатысатын антиоксидант немесе металл хелаторы ретінде қызмет ете алады [41]. Гипераккумуляторлы өсімдік түрлерінде Zn байланысуында GSH орнына фитохелатиндер (ФК), цистеинге бай шағын пептидтер ерекше рөл атқармайды [42]. Хабарланғандай, *Sedum alfredii* металл популяциясында РК және цистеин (Cys) ешбір ұлпада табылған жоқ [43]. Ауыр металдардың әсеріне ұшыраған өсімдіктерде маңызды ДК синтездеу сульфаттарды азайту үшін қажетті энергияның айтарлықтай мөлшерін талап ететіні бұрын анықталған болатын. Сонымен қатар, металлотионеиндер (MT) мырыштың гипераккумуляциясына қатысады. Zn гипераккумуляторы *N. caerulea* *N. thaliana*ға қарағанда конститутивтік жоғары MT экспрессиясын көрсетеді. Сонымен қатар, NcMT1 және NcMT2 *N. caerulea* органдарында және Zn экспозициясына жауап ретінде шамадан тыс экспрессия үлгілерін көрсетеді, бұл tZn гипераккумуляциясы процесінде MTs ықтимал рөлін көрсетеді [44].

Мырыштың гипераккумуляциясының молекулалық механизмдері. Ризосферада биоактивтенуден кейін Zn массалық ағын және диффузиялық механизмдер арқылы тамырларға қабылданады. Өсімдіктерде Zn ксилемаға екі түрлі жолмен жетуі мүмкін: (i) Симпластикалық жол: Тамыр ұлпаларындағы іргелес жасушалардың цитоплазмасы жасуша қабырғасындағы цитоплазмалық көпірлермен (плазмодесмата) байланысып, мембраналық бөгетсіз симпластикалық континуумды құрайды. Сонда цитоплазмалық Zn энергияны жұмсамай пероциклге дейін осы жолмен жүреді; және (ii) Zn жасуша қабырғасы мен жасушааралық кеңістіктер арқылы қозғалатын апопластикалық жол. Содан кейін каспар жолағында ламеллалардың тұндыруынан Zn эндодермада бітеліп қалады [45]. Гипераккумулятор емес *N. arvensis*мен салыстырғанда *N. caerulea* гипераккумуляторы тамырлардың ерекше қасиетін көрсетті (лигнин шөгінділері бар біркелкі емес қалыңдатылған тангенциалды қабырғалары бар антеродермальды жасушалар) [46]. ван де Мортел және т.б. зауытқа металл ағынын бақылау немесе орталық стеладан артық металдың ағып кетуіне жол бермеу үшін лигнин шөгінділерін пайдаланады, бұл зауытқа металл қабықтарының төмен концентрациясын ұстап тұру мүмкіндігін береді, содан кейін металды сіңіруді тоқтатады. топырақ. Эндодерма деңгейіне жеткен Zn тасымалдаушылардың көмегімен симпластикалық жолмен қозғалуы керек. Осылайша, мырыш иондарының стеллаға ағыны вакуольді ұстау есебінен азаюы мүмкін [47]. Алайда тамырда Zn аз вакуольді секвестрленуі Zn гипераккумуляциясының маңызды механизмі болып табылады. *N. caerulea* сезімтал түр *N. arvensis*мен салыстырғанда тамыр жасушаларының вакуольдерінде Zn шамамен 2,5 есе аз сақтайтыны анықталды [48]. Сонымен қатар, *P. griffithii*-де Zn жинақталуының негізгі орындары апопластар болды, әсіресе жасуша қабырғаларында [49].

Жалпы, металдардың гипераккумуляциясына қатысатын молекулалық механизмдер негізінен өсімдіктердегі металл гомеостазына қатысатын механизмдерден алынған. Бірнеше зерттеулер металл гомеостазына қатысатын бірдей гендер гендердің қайталануы және/немесе промоторларды реттеудегі өзгерістер нәтижесінде аккумуляторлық емес түрлермен салыстырғанда гипераккумуляторларда әртүрлі экспрессияланатынын көрсетті. Zn жағдайында гипераккумуляция стратегиясына қатысатын гендер негізінен *A. halleri* және *N. caerulea*-те анықталды [50, 51].

Қорытынды

Өсімдіктердегі мырыштың сіңу және гипераккумуляция механизмдерін түсіну соңғы жылдары айтарлықтай дамыды. Кейбір өсімдіктер өздерінің ауа бөліктерінде Zn тасымалдау және гипераккумуляциялау үшін бірқатар физиологиялық бейімделу стратегияларын әзірледі. Түрлі туыстарға жататын көптеген гендер (HMA, ZIP, YSL, MTP және т.б.).

Бұл жетістіктердің барлығының топырақтан өсімдік ұлпаларына және жасушалық бөлімдерге Zn ауысуының физиологиялық процестерін түсіну үшін үлкен маңызы бар. Осылайша, мырышпен ластанған топырақтарды фиторемедиациялау және тазарту үшін мырыштың гипераккумуляторлық қондырғыларын пайдалану шындыққа айналды. Фиторемедиация - бұл металлмен ластанған топырақтарды қалпына келтірудің тиімді әдісі ретінде танылған жасыл, экологиялық таза және арзан технология [52]. Алайда, топырақты залалсыздандыру үшін гипераккумуляцияны қолдану биомассасының төмендігі мен гипераккумуляторлы өсімдіктердің баяу өсуіне, сонымен қатар топырақтағы мырыштың биожетімділігінің төмен болуына байланысты шектелген [53]. Ризосфералық микробтар, әсіресе PGPR, эндофитті бактериялар және микориза, сондай-ақ тыңайтқыштар мен экзогендік хелаторларды қолдану Zn қозғалғыштығы мен биожетімділігін жақсартады және фиторемедиацияға тиімді көмектеседі. Сонымен қатар, гендік инженерия мен геномды өңдеу құралдарының соңғы жетістіктері, мысалы, жүйелі түрде бөлінген кластерленген палиндромдық қайталау (CRISPR) стратегиялары [54], өсімдіктерде Zn қабылдау, тасымалдау және жинақтауға қатысатын молекулалық механизмдерді жақсырақ түсінуге мүмкіндік береді. Бұл Zn гипераккумуляциясының жақсаруына әкеледі және топырақты залалсыздандырудың жаңа мүмкіндіктерін ашуы мүмкін.

Пайдаланылған әдебиеттер:

1 Маршнер Г. Минеральное питание высших растений Маршнера. Академическая пресса; Кембридж, Массачусетс, США: 2011.

2 Леманн А., Вересоглу С.Д., Лейфхайд Э.Ф., Риллиг М.С. Влияние арбускулярной микоризы на питание цинком сельскохозяйственных культур – метаанализ. Почвенная биол. Биохим. 2014; 69 : 123–131. doi: 10.1016/j.soilbio.2013.11.001.

3 Zhang Y., Hu C.-X., Tan Q.-L., Zheng C.-S., Gui H.-P., Zeng W.-N., Sun X.-C., Zhao X. -ЧАС. Состояние питания растений, урожайность и качество мандарина сацума (*Citrus unshiu* Marc.) при внесении Fe-EDDHA в почву и в сочетании с цинком и марганцем в известняковой почве. науч. Хортик. 2014; 174 : 46–53. doi: 10.1016/j.scienta.2014.05.005.

4 Кастильо-Гонсалес Х., Охеда-Барриос Д., Эрнандес-Родригес А., Гонсалес-Франко А.С., Роблес-Эрнандес Л., Лопес-Очоа Г.Р. Металлоферменты цинка в растениях. Интерсиенсия. 2018; 43 :242–248.

5 Мусави С.Р. Цинк в растениеводстве и взаимодействие с фосфором. Ауст. J. Базовый и Appl. науч. 2011 г.; 5 :1503–1509.

6 Чакмак И., Озтюрк Л., Каранлик С., Маршнер Х., Экиз Х. Цинк-эффективные дикорастущие травы усиливают высвобождение фитосидерофоров при дефиците цинка. J. Питательные вещества для растений. 1996 год; 19 : 551–563. doi: 10.1080/01904169609365142.

7 Камбье П., Шварц К., Ван Оорт Ф. Металлические загрязнения агросистем и экосистем Пери-Индастриэлс. Издания Куэ; Париж, Франция: 2009 г.

8 Duplay J., Semhi K., Errais E., Imfeld G., Babcsanyi I., Perrone T. Биодоступность и удержание меди, цинка, свинца и кадмия в почвах виноградников (Rouffach, Франция): влияние культурных методов. Геодерма. 2014; 230 : 318–328. doi: 10.1016/j.geoderma.2014.04.022.

9 Квон М.Дж., Боянов М.И., Ян Дж.-С., Ли С., Хван Ю.Х., Ли Дж.Ю., Мишра Б., Кемнер К.М. выбор оптимальной стратегии восстановления. Окружающая среда. Загрязн. 2017; 226 : 346–355. doi: 10.1016/j.envpol.2017.01.066.

10 Вышковски М., Моджевска Б. Кислотность и сорбционные свойства почвы, загрязненной цинком, после применения нейтрализующих веществ. Дж. Экол. англ. 2016; 17 doi: 10.12911/22998993/61191.

11 Морейра А., Мораес Л.А., Дос Рейс А.Р. Эффективность использования питательных микроэлементов растениями. Эльзевир; Амстердам, Нидерланды: 2018. Молекулярная генетика поглощения и эффективности использования цинка сельскохозяйственными культурами; стр. 87–108.

12 Тичер Т.Л., Черетта К.А., Тичер Т., Феррейра П.А., Николозо Ф.Т., Сориани Х.Х., Россато Л.В., Миммо Т., Ческо С., Лоурензи К.Р. Влияние добавления цинка в загрязненную медью почву виноградника на сорбцию цинка физиологические реакции почвы и растений. Экотоксикол. Окружающая среда. Саф. 2016; 129 : 109–119. doi: 10.1016/j.ecoenv.2016.03.016.

13 Прасад М. Необходимость цинка для здоровья человека и устойчивого развития. В: Prasad MNV, редактор. Микроэлементы как загрязнители и питательные вещества: последствия для экосистем и здоровья человека. Джон Уайли и сыновья инк.; Хобокен, Нью-Джерси, США: 2008. стр. 183–216.

УДК 62.09.39

ДӘСТҮРЛІ МЕДИЦИНАДА ҚОЛДАНЫЛАТЫН ӨСІМДІК СЫҒЫНДЫЛАРЫНЫҢ БАКТЕРИЯҒА ҚАРСЫ БЕЛСЕНДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

Кали Динара Абилхайрқызы, Масалимов Жақсылық Кайырбекович
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
dinara.kali.00@mail.ru

Кіріспе. Жұқпалы аурулар денсаулық сақтаудың маңызды мәселесі болып қала береді, бұл мүгедектікке бейімделген өмір сүру жылдарында өлшенетін аурулардың жаһандық ауыртпалығының 41% құрайды (Noah and Fidas, 2000). Бұл мәселенің негізгі себептерінің бірі антибиотиктерге бактериялық төзімділіктің кең таралуы болып табылады, осылайша бүгінде әлем жаһандық қоғамдық денсаулыққа үлкен қауіп төндіреді тек эпидемиялар ғана емес, сонымен қатар антибиотиктерге төзімділік пандемиялары. Антибиотиктерге төзімділіктің осы проблемасына байланысты қазіргі уақытта назар шөп медицинасы ретінде қолданылатын өсімдік түрлерінен окшауланған биологиялық белсенді компоненттерге ауысуда, өйткені олар Бактерияға қарсы және саңырауқұлаққа қарсы белсенділіктің жаңа қуатты көзі бола алады (Maiyo et al., 2010, Erfan and Marouf, 2019). Өсімдіктердің микробқа қарсы қасиеттері олардың микробқа қарсы белсенділігі бар салыстырмалы түрде күрделі құрылымдағы бірнеше қайталама метаболиттерді шығару қабілетімен байланысты (Matasyoh et al., 2009, Souza et al., 2005). Өсімдік өнімдерінің микробқа қарсы белсенділігін тексеру жоғары сатыдағы өсімдіктердің жаңа антибиотиктердің прототиптерінің әлеуетті көзі екенін көрсетті. Соңғы жылдары адам патогендерінің бірнеше төзімділік жағдайларының өсуі байқалды, бұл негізінен жұқпалы ауруларды емдеуде жиі қолданылатын коммерциялық микробқа қарсы препараттарды таңдамай қолдануға байланысты. Бұл ғалымдарды дәрілік өсімдіктер сияқты әртүрлі көздерден жаңа микробқа қарсы заттарды іздеуге мәжбүр етті. Зауыт фармацевтика өнеркәсібінде тікелей прекурсорлар немесе Қорғасын қосылыстары ретінде қолданылатын қайталама метаболиттердің кең