

Ғ.И. Исаев¹ , Б.Қ. Маулен¹ , Н.Н. Салыбекова¹ , И.Ф. Икрамов² ,
А.И. Әзімбай¹ , Е.Н. Балтабай¹ , Қ.Қ. Құлымбет^{3*} ,

¹Қ.А. Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан, Қазақстан

²Аймақтық инновациялық университеті, Шымкент, Қазақстан

³Ө.О. Оспанов атындағы қазақ топырақтану және агрохимия ғылыми-зерттеу институты,
Алматы, Қазақстан

*e-mail: qulymbet.qanat@gmail.com

ХҚТУ БОТАНИКАЛЫҚ БАҒЫНДАҒЫ *JUGLANS NIGRA* L. ТҮРІНІҢ ЖЕРСІНДІРІЛУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ ЖӘНЕ МОРФО-АНАТОМИЯЛЫҚ, ФИЗИОЛОГИЯЛЫҚ ДАМУЫ

Мақалада Оңтүстік Қазақстан жағдайында *Juglans nigra* L. өсімдігінің морфологиялық дамуы мен бейімделу ерекшеліктері зерттелді. Зерттеудің мақсаты – *J. nigra* морфологиялық, физиологиялық және анатомиялық сипаттамаларын анықтап, оның дамуына топырақ-климаттық факторлардың әсерін бағалау. Зерттеу міндеттеріне фенологиялық фазаларды бақылау, биометриялық өлшеулер жүргізу, ұлпа құрылымын талдау және топырақтың өсімдік өсуіне әсер ететін қасиеттерін анықтау кірді. Зерттеу Халықаралық қазақ-түрік университетінің ботаникалық бағында жүргізілді. Алынған нәтижелер бойынша *J. nigra* аймақтың климаттық жағдайларына жоғары бейімделгіштік танытты. Вегетациялық кезең тұрақты өсу қарқынымен, қуатты тамыр жүйесінің қалыптасуымен және өсімдіктердің жоғары өміршеңдігімен сипатталды. Топырақтың құрамы мен ылғалдылық деңгейі көшеттердің даму қарқындылығына айтарлықтай әсер ететіні анықталды. Физиологиялық зерттеулер өсімдіктерде су балансын сақтауға және құрғақшылыққа төзімділікті қамтамасыз ететін бейімделу механизмдерінің бар екенін көрсетті. Анатомиялық зерттеулер ұлпалардың беріктігін арттырып, ылғал жоғалуын азайтатын қорғаныс құрылымдарының қалыптасқанын дәлелдеді. Топырақ талдаулары өсімдіктің сәтті өсуіне қажетті қоректік элементтердің жеткілікті екенін көрсетті. Зерттеу нәтижелері *J. nigra* құрғақ аймақтарда жерсіндіру және өсіру ісінде, сондай-ақ оның тұрақтылығы мен өнімділігін арттыруға бағытталған агротехникалық әдістерді оңтайландыруда пайдалануға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: *Juglans nigra* L., фенологиялық бақылау, топырақ құрамы, анатомиялық ерекшеліктер, құрғақшылыққа төзімділік.

G.I. Issayev¹, B.K. Maulen¹, N.N. Salibekova¹, I.G. Ikramov²,
A.I. Azimbay¹, E.N. Baltabay¹, K.K. Kulymbet^{3*}

¹Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan

²Regional Innovation University, Shymkent, Kazakhstan

³U.U. Uspanov Kazakh Research Institute of Soil Science and Agrochemistry», Almaty, Kazakhstan

*e-mail: qulymbet.qanat@gmail.com

Adaptation features of *Juglans nigra* L. in the botanical garden of IKTU and morphological, anatomical and physiological development

This article examines the growth and adaptation characteristics of *Juglans nigra* under the conditions of Southern Kazakhstan. The aim of the study is to investigate the morphological, physiological, and anatomical characteristics of *J. nigra*, as well as to assess the influence of soil and climatic factors on its development. The research objectives included the analysis of phenological phases, biometric measurements, tissue structure studies, and the determination of soil characteristics affecting plant growth. The study was conducted on the territory of the Botanical Garden of the International Kazakh-Turkish University. The obtained results showed that *J. nigra* demonstrates high adaptability to the climatic conditions of the region. The vegetation period is characterized by stable growth rates, the formation of a strong root system, and high plant viability. It was established that soil composition and moisture levels have a significant impact on seedling growth intensity. Physiological studies confirmed the presence of adaptive mechanisms that help maintain water balance and resistance to arid conditions. Anatomical studies revealed protective structures that reduce water loss and increase tissue strength. Soil analysis indicated a sufficient level of nutrients necessary for the successful growth of the plants. The obtained data

can be used for the introduction and cultivation of *J. nigra* in arid regions, as well as for the optimization of agrotechnical practices aimed at increasing the plant's resilience and productivity.

Keywords: *Juglans nigra* L., phenological observation, soil composition, anatomical features, drought resistance.

Ғ.И. Исаев¹, Б.К. Маулен¹, Н.Н. Салыбекова¹, И.Ғ. Икрамов²,
А.И. Азимбай¹, Е.Н. Балтабай¹, Қ.Қ. Құлымбет^{3*}

¹Международный казахско-турецкий университет им. Х.А. Ясави, Туркестан, Казахстан

²Региональный инновационный университет, Шымкент, Казахстан

³Казахский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии
имени У.У. Успанова, Алматы, Казахстан

*e-mail: qulymbet.qanat@gmail.com

Особенности адаптации *Juglans nigra* L. в условиях ботанического сада МКТУ и его морфо-анатомического, физиологического развития

В статье рассматриваются особенности роста и адаптации *Juglans nigra* в условиях Южного Казахстана. Целью исследования является изучение морфологических, физиологических и анатомических характеристик *J. nigra*, а также оценка влияния почвенно-климатических факторов на его развитие. В задачи исследования входили анализ фенологических фаз, биометрические измерения, исследование структуры тканей и определение почвенных характеристик, влияющих на рост растений. Исследование проводилось на территории ботанического сада Международного казахско-турецкого университета. Полученные результаты показали, что *J. nigra* демонстрирует высокую адаптивность к климатическим условиям региона. Вегетационный период характеризуется стабильными темпами роста, формированием мощной корневой системы и высокой жизнеспособностью растений. Установлено, что состав почвы и уровень влажности оказывают значительное влияние на интенсивность роста саженцев. Физиологические исследования подтвердили наличие адаптационных механизмов, позволяющих растениям сохранять водный баланс и устойчивость к засушливым условиям. Анатомические исследования показали наличие защитных структур, способствующих снижению потерь влаги и повышению прочности тканей. Почвенные исследования продемонстрировали достаточное содержание питательных элементов, необходимых для успешного роста растений. Полученные данные могут быть использованы для интродукции и выращивания *J. nigra* в засушливых регионах, а также для оптимизации агротехнических приемов, направленных на повышение устойчивости и продуктивности растения.

Ключевые слова: *Juglans nigra* L., фенологическое наблюдение, состав почвы, анатомические особенности, засухоустойчивость.

Кіріспе

Қара жаңғақ (*Juglans nigra* L.) – Солтүстік Америкада кең таралған, бірақ біртіндеп әлемнің басқа аймақтарында, соның ішінде Орталық Азияда зерттеушілер мен селекционерлердің назарын аударатын құнды ағаш түрі [1]. Климаттың өзгеруі мен жаһандық жылыну жағдайында жоғары бейімделгіштігі мен экономикалық құндылығы бар тұрақты ағаш түрлерін зерттеу қажеттілігі артып келеді. Бұл тұрғыда *J. nigra* өзінің пайдалы қасиеттеріне, жоғары экологиялық икемділігіне және орман шаруашылығында, ландшафттық көгалдандыруда және агроорман шаруашылығы жүйелерінде пайдалану перспективасына байланысты ерекше қызығушылық тудырады [2].

Бүгінгі күнге дейін *J. nigra* бағытталған зерттеулер оның морфологиялық ерекшеліктерін, биохимиялық қасиеттерін, өсудің экологиялық-физиологиялық аспектілерін және қоршаған ор-

таның қолайсыз факторларына төзімділігін қоса алғанда, көптеген мәселелерді қамтиды. Солтүстік Америкада бұл түр орман шаруашылығының маңыздылығына және агроорман-мелиорациялық жүйелерде қолданылуына байланысты жақсы зерттелген [3]. *J. nigra* көшеттерін жабық тамыр жүйесімен өсірудің технологиялық аспектілері қарастырылған. Авторлар бұл тәсіл көшеттердің тіршілікке бейімділігін арттырып, құрғақ климаттық жағдайларда олардың жақсы өсуін қамтамасыз ететінін анықтаған [4]. Грек жаңғағының (*J. regia* L.) көшеттерін қара жаңғақ (*J. nigra* L.) қорына телу арқылы өсіру перспективалары қарастырылған. Бұл әдіс көшеттердің төзімділігін арттырып, өнімділігін жоғарылататынын және әртүрлі климаттық жағдайларға бейімделу қабілетін күшейтетінін анықтаған [5]. Sitz және басқалар [6] *J. nigra* бейімделу қабілеті жоғары екенін және оны климаттың өзгеруіне төзімді орман екпелерін құру үшін пайдалануға болатындығын көрсетеді.

Қазақстанда *J. nigra* әлі де зерттеулерді талап етеді. Соңғы жылдары оның елдің әртүрлі аймақтарында бейімделуін зерттеуге арналған жеке жұмыстар пайда болды. Мысалы, Қазақ ұлттық аграрлық университетінің ғалымдары жүргізген зерттеулер [7] климаттық өзгерістер контекстінде *J. nigra* өсу ерекшеліктеріне тәуелділігін анықтады. Олар бұл түрдің Қазақстанның оңтүстік өңірлерінде, әсіресе тау бөктеріндегі аудандарда пайдалану үшін жоғары әлеуетке ие екенін атап өтті.

Егізбаева Т.К. және басқалардың зерттеуі [8] Қазақстан жағдайында *J. nigra* жерсіндіру топырақтың ылғалдылық деңгейін, температуралық амплитудасын және жергілікті фитопатогендердің әсерін қоса алғанда, бірқатар факторларды ескеруді талап ететінін көрсетеді. Дегенмен, бұл жұмыстар негізінен шолу сипатында және жасанды екпелердегі *J. nigra* дамуының морфологиялық ерекшеліктеріне қатысты егжей-тегжейлі зерттеулер іс жүзінде жоқ.

J. nigra табиғи ауқымындағы морфологиялық және физиологиялық ерекшеліктеріне арналған зерттеулердің айтарлықтай санына қарамастан, оның Орталық Азия жағдайында, оның ішінде Қазақстан аумағы жағдайында дамуы туралы мәліметтер фрагментті болып қала береді. Атап айтқанда, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық Қазақ-Түрік университетінің ботаникалық бағында жасанды жағдайда өсірілген *J. nigra* морфологиялық құрылымдарының өсуі мен қалыптасу процестері жеткілікті зерттелмеген. Бұл зерттеудің өзектілігі жергілікті климаттық жағдайлардың осы ағаш түрінің дамуына әсері туралы білімді кеңейту қажеттілігімен анықталады, бұл оның аймақтың орман және агротехникалық екпелеріндегі болашағын бағалау үшін маңызды.

J. nigra – биіктігі 30-40 м-ге дейін жететін, терең енетін тамыр жүйесі бар жапырақты ағаш [9]. Оның діңі қараңғы, терең жарылған қабығымен жабылған, ал тәжі тығыз және жайылған. Жапырақтары күрделі, пиннат тәрізді, ұзындығы 60 см-ге дейін, оған тән хош иісі бар 15-23 жапырақ кіреді [10]. Жапырақтарында биологиялық белсенді қосылыстар (фенолдар, флавоноидтар) кездеседі [11]. Гүлдер екі қабатты: аталықтары ұзын сырғалықтарға жиналған, аналықтары жалғыз немесе 2-3 топта орналасқан. Жемісі – қалың жасыл қабығы бар дөңгелек сүйек, оның ішінде жеуге жарамды ядросы бар қатты, мыжылған тұқым қабығы бар [12].

J. nigra құрылымы мен даму ерекшеліктері оны Қазақстанның орман екпелеріне енгізу үшін перспективалы етеді, алайда оны сәтті бейімдеу үшін жергілікті климаттық жағдайлардың өсімдіктің негізгі морфологиялық көрсеткіштеріне әсерін кешенді талдау қажет. Зерттеу ботаникалық бақ жағдайында *J. nigra* өсуі мен қалыптасуының негізгі факторларын анықтауға бағытталған, бұл оны одан әрі өсіру және аймақта ықтимал тарату бойынша ұсыныстар беруге мүмкіндік береді.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеу нысаны ХҚТУ ботаникалық бақта өсірілген *J. nigra* L. болды. Зерттеу орман шаруашылығы мен көгалдандыру үшін перспективалы ағаш түрлерін зерттеу бағдарламасы аясында аймаққа енгізілген өсімдіктерде жүргізілді.

Зерттеу Оңтүстік Қазақстанда орналасқан ХҚТУ ботаникалық бағында жүргізілді (1-сурет), онда климат жазы ыстық және қысы суық континенттік жағдайлармен сипатталады. Зерттелетін учаскенің топырағы қалыпты қарашірік мөлшері бар сероземалармен ұсынылған. Жылдық орташа температура +12,5°C, жылдық жауын-шашын мөлшері – 250-300 мм.



1-сурет – Отырғызуға дайындалған *J. nigra* өсімдігі

Фенологиялық бақылаулар екі вегетациялық маусымда жүргізілді. Фенологиялық фазаларды тіркеу бүршіктердің ашылуының басталу және аяқталу күнін, өскіннің белсенді өсуін, гүлденуін, жемістердің қалыптасуы мен пісуін қамтыды. Биометриялық өлшемдер өсімдік параметрлері ай сайын тіркелді, соның ішінде көшеттердің биіктігі; тамыр мойны деңгейіндегі магистральдың диаметрі; жапырақтардың ұзындығы мен ені; күрделі жапырақтағы жапырақтардың саны; жемістер мен тұқымдардың массасы (2-сурет).



2-сурет – *J. nigra* өсімдігінің биіктігін өлшеу кезеңі

Физиологиялық көрсеткіштер – гидростатикалық өлшеу және жапырақтардағы ылғалдың мөлшерін анықтау арқылы су режимінің көрсеткіштері зерттелді [13]. Ол үшін жапырақ үлгіле-

рі алдын-ала өлшеніп, содан кейін 105°C температурада тұрақты массаға дейін кептірілді.

Анатомиялық зерттеулер – өркендер мен жапырақтардың тіндерінің тілімдерін микроскопиялық талдау арқылы жүргізілді. Үлгілер формалин-сірке суы-спирт ерітіндісінде салынып, сусыздандырылып, парафинге құйылды. Бөлімдер сафранинмен және анилин көгімен боялып, содан кейін жарық микроскопымен талданды.

Топырақ сипаттамаларын талдау-стандартты әдістерге сәйкес гранулометриялық құрамды, қышқылдықты (рН), гумустың құрамын, азоттың, фосфордың және калийдің жылжымалы формаларын зерттеуді қамтыды. Топырақ сынамаларын алу 0-40 см тереңдікте жүргізілді. Өсу қарқыны мен өнімділігін анықтау – бір ағашқа жылдық өсінділердің өсуін және жеміс санын өлшеу арқылы жүргізілді.

Статистикалық деректерді өңдеу-деректерді талдау MS Excel және statistica бағдарламаларын қолдану арқылы жүргізілді. Айырмашылықтардың дұрыстығын бағалау үшін $p < 0.05$ маңыздылық деңгейінде дисперсиялық талдау (ANOVA) әдісі қолданылды [14].

Зерттеу нәтижелері және оларды талдау

Зерттеу барысында ХҚТУ ботаникалық бағы жағдайында *J. nigra* өсуінің морфологиялық және физиологиялық ерекшеліктері туралы мәліметтер алынды. Фенологиялық бақылауларды талдау көрсеткендей, бүршіктердің орташа ашылу мерзімі 18-20 сәуір, өскіннің белсенді өсуі тамызға дейін жалғасып, жемістердің қалыптасуы қыркүйек айының соңында аяқталды. Вегетациялық кезеңнің ұзақтығы 153-160 күн аралығында өзгерді.

J. nigra биометриялық көрсеткіштерін өлшеу нәтижелері 1-кестеде көрсетілген:

1-кесте – *J. nigra* биометриялық көрсеткіштері

Көрсеткіш	Минималды мән	Максималды мән
Көшеттердің орташа биіктігі (м)	1.0	2.1
Магистраль диаметрі (см)	2.2	3.2
Өскіндердің максималды өсуі (см)	34	40
Жапырақ тақталарының ұзындығы (см)	13	19
Жапырақтар саны	12	17

1-кестеде көрсетілген *J. nigra* биометриялық көрсеткіштерінің негізінде әр түрлі жағдайда осы өсімдіктің өсуі мен морфологиялық сипаттамаларына егжей-тегжейлі талдау жасауға болады.

Көшеттердің орташа биіктігі 1,0-ден 2,1 метрге дейін өзгереді, бұл оның дамуының бастапқы кезеңдерінде *J. nigra* салыстырмалы түрде тез өсуін көрсетеді. Бұл параметрлер топырақ жағдайлары, климат, жарық деңгейі және агро-техникалық күтім ерекшеліктері [15,16] сияқты көптеген факторларға байланысты болуы мүмкін екенін ескеру маңызды. 2,1 м-ге жақын жоғары мөндер құнарлы топырақ және жеткілікті ылғалдылық сияқты оңтайлы өсу жағдайларына тән [17] болуы мүмкін, ал минималды өсу қарқыны (1,0 м) ылғалдың жетіспеушілігі немесе топырақтың жеткіліксіз қоректенуі жағдайында [18] байқалуы мүмкін.

Магистральдың диаметрі 2,2-ден 3,2 см-ге дейін өсімдіктің жақсы дамуын көрсетеді, өйткені магистральдың қалыңдауы оның өміршеңдігі мен одан әрі өсу қабілетінің маңызды көрсеткіші болып табылады. Қолайлы климаттық параметрлері және күн сәулесінің оңтайлы деңгейі бар жағдайларда өсетін көшеттерде диаметрдің жоғары мөндерін [19-21] байқауға болады. Бұл көрсеткіш өсімдіктің одан әрі өсу перспективасын бағалауда маңызды рөл атқарады, өйткені магистральдың диаметрі неғұрлым үлкен болса, соғұрлым қуатты тәждің сәтті қалыптасуы және жел мен қар жүктемесі сияқты механикалық жүктемелерге төзімділік ықтималдығы жоғары болады.

34-тен 40 см-ге дейінгі қашудың максималды өсуі вегетативті массаның жеткілікті белсенді өсуін көрсетеді. Бұл параметр қоршаған орта жағдайларына ғана емес, сонымен қатар *J. nigra* белгілі бір сортының генетикалық ерекшеліктеріне де байланысты болуы мүмкін. Өркендердің өсуіндегі айырмашылық тек 6 см құрайды, бұл зерттелген көшеттер популяциясындағы осы параметрдің тұрақтылығын көрсетеді. Қолайлы температуралық режим мен қоректік заттардың жеткілікті мөлшері жағдайында бұл көрсеткіш жоғарғы мөндерге жетуі мүмкін, бұл өз кезегінде жапырақ аппаратының тез қалыптасуына және өсімдіктің жалпы биомассасының өсуіне ықпал етеді.

Жапырақ тақталарының ұзындығы 13-дан 19 см-ге дейін, *J. nigra* жапырақ өлшемдерінің өзгергіштігін көрсетеді. Бұл өсу жағдайларының ерекшеліктеріне де, әр өсімдіктің жеке ерекшеліктеріне де байланысты болуы мүмкін.

Жапырақтары фотосинтез процесінде шешуші рөл атқарады, өсімдікті өсу мен дамуға қажетті энергиямен қамтамасыз етеді. Ұзын жапырақ тақталары фотосинтетикалық белсенді беттің көбірек аймағын қамтамасыз етеді, бұл органикалық заттардың қарқынды жиналуына және нәтижесінде ағаштың белсенді өсуіне ықпал етуі мүмкін. Жапырақ тақтасының ұзындығының ұлғаюы жақсы жарық жағдайлары мен ылғалдың жеткілікті деңгейіне байланысты болуы мүмкін екенін ескеру маңызды.

12-тен 17-ге дейінгі парақшалар саны жапырақ аппаратының дамуындағы айтарлықтай өзгергіштікті көрсетеді. Әдетте, көбірек жапырақтардың болуы күн энергиясының жақсы сіңуіне және фотосинтез процесінің тиімдірек болуына ықпал етуі мүмкін, бұл өз кезегінде өсімдіктің жалпы өсуіне оң әсер етеді. Дегенмен, бұл көрсеткіш көшеттің жас ерекшеліктеріне, оның қоршаған ортаға бейімделу дәрежесіне және құрғақшылық немесе механикалық зақымдану сияқты ықтимал стресс факторларына байланысты болуы мүмкін.

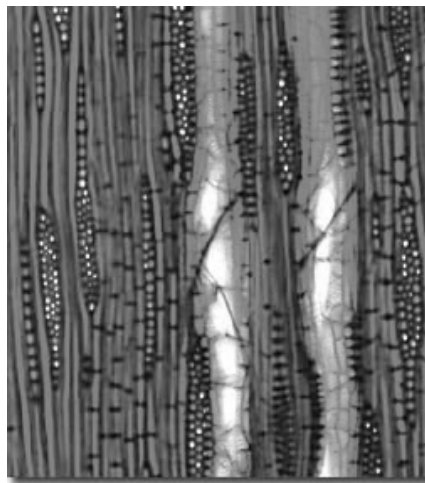
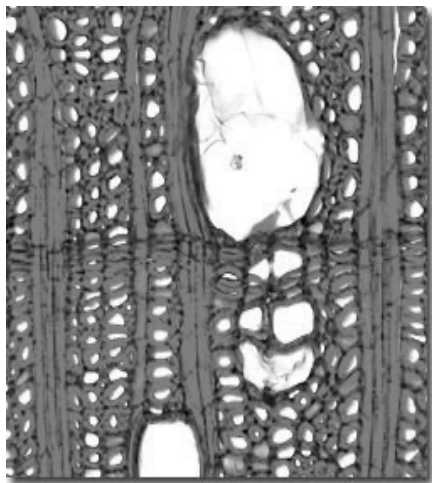
Жалпы, *J. nigra* биометриялық көрсеткіштерін талдау бұл түрдің жоғары өміршеңдігі мен жақсы өсу қарқыны бар екенін көрсетеді. Ылғалдың, қоректік заттардың және қолайлы температура режимінің жеткілікті мөлшерін қамтитын оңтайлы өсу жағдайлары барлық көрсеткіштер бойынша максималды мөндерге қол жеткізуге ықпал етеді. Дегенмен, деректердің бірнеше сантиметрге және әртүрлі парақшалар санына таралуының болуы, тіпті ұқсас жағдайларда да өсімдіктер генетикалық факторларға да, қоршаған ортаның әсеріне де байланысты жеке айырмашылықтарды көрсете алатынын көрсетеді. Әр түрлі топырақ-климаттық аймақтардағы *J. nigra* өсуі мен дамуын одан әрі зерттеу оның сәтті өсуіне және әртүрлі жағдайларға бейімделуіне ықпал ететін факторларды егжей-тегжейлі анықтауға мүмкіндік береді.

Физиологиялық зерттеулер ауа-райына байланысты жапырақтардың ылғалдылығы 60%-дан 75%-ға дейін өзгередінін көрсетті. Жоғары температура жағдайында ылғалдылық деңгейінің төмендеуі байқалды, бұл өсімдіктің жоғары транспирациялық белсенділігін көрсетеді.

Анатомиялық зерттеулер *J. nigra*-ның құрғақ жағдайларға бейімделуін қамтамасыз ететін жапырақ тақталарының құрылымдық ерекшеліктерін анықтады. Стоматальды аппарат негізінен жапырақтың төменгі жағында орналасқан паразиттік стоматалармен ұсынылған. Кутикуланың

қалыңдығы едәуір болды, бұл ылғалдың артық жоғалуына жол бермеді. Өркен тіндерінің бөлімдерін микроскопиялық талдау сыртқы әсерлерге төзімділікті қамтамасыз ететін дамыған механикалық тіндердің болуын анықтады. Кси-

лемада үлкен тамырлар байқалды (3-сурет), бұл судың жоғары өткізгіштігін көрсетеді. Деректер су ресурстарын тиімді пайдалануға бағытталған *Juglans nigra* L. бейімделу механизмдерін растайды.



3-сурет – Микроскопиялық талдау нәтижелері

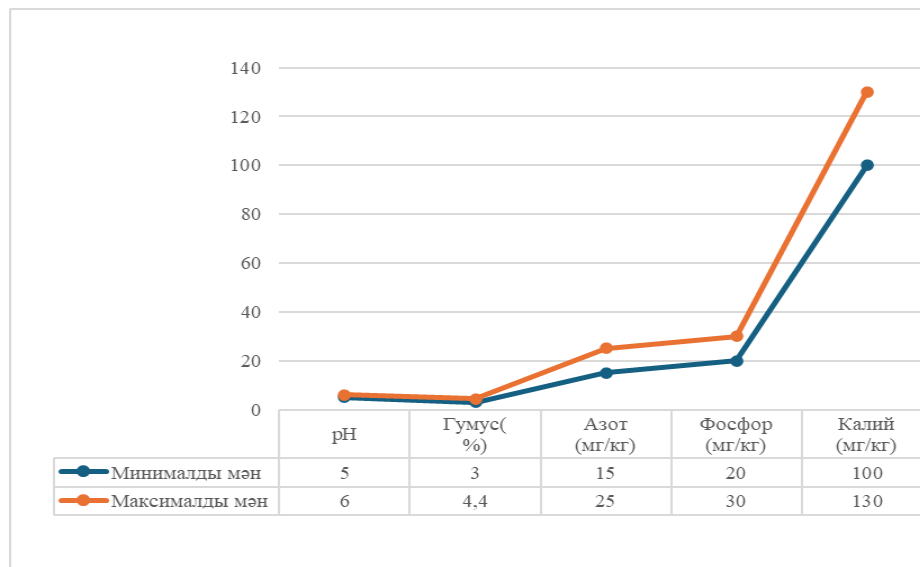
Топырақтың құнарлылығы агроэкожүйелердің өнімділігін анықтайтын негізгі факторлардың бірі. Бұл өсімдіктердің қоректік заттардың болуын анықтайтын топырақтың физикалық, химиялық және биологиялық қасиеттеріне байланысты. Құнарлылықты сандық бағалаудың бір әдісі – макронутриенттерді (азот, фосфор, калий), гумустың құрамын және топырақтың қышқылдығын (рН) талдау. Қарастырылып отырған көрсеткіштер өсімдіктердің өсуі мен олардың физиологиялық жағдайы үшін қолайлы ортаны қалыптастыруда негіз болып табылады.

4-суретте ұсынылған үлгіде рН диапазоны 5-тен 6-ға дейін өзгереді, бұл аздап қышқыл реакцияға сәйкес келеді. Топырақ қышқылдығы топырақ түзілу процестеріне, қоректік Заттардың ерігіштігіне және топырақ микрофлорасының биологиялық белсенділігіне айтарлықтай әсер етеді. рН 6,0-ден төмен болса, алюминий, марганец және темірді өсімдіктерге улы түрлерге жұмылдыру мүмкін, бұл тамыр жүйесіне теріс әсер етеді. Оңтайлы рН диапазоны (6,0–7,0) дақылдардың өсуіне қажетті макро және микроэлементтердің ең жақсы қолжетімділігін қамтамасыз етеді.

Гумус – оның физикалық-химиялық қасиеттеріне, ылғал сыйымдылығына және био-

логиялық белсенділігіне әсер ететін топырақ құнарлылығының негізі [22-24]. Бұл зерттеуде гумустың мөлшері 3–4,4% аралығында болады, бұл органикалық заттардың деңгейі жоғары топырақтарға сәйкес келеді. Жіктеуге сәйкес, қарашірік мөлшері 3%-дан асатын топырақтар орташа гумусталған және суды жақсы ұстайтын қасиеттерге ие. Гумус қышқылдықтың күрт өзгеруіне жол бермейтін және топырақ құрылымын жақсартатын [25,26] табиғи буфер рөлін атқарады.

Азоттың топырақтағы құрамы 15-25 мг/кг диапазонында ұсынылды, бұл қамтамасыз етудің орташа деңгейін көрсетеді. Азот аминқышқылдарының, ақуыздардың, нуклеин қышқылдарының және хлорофиллдің бөлігі болып табылады және оның жетіспеушілігі фотосинтетикалық белсенділіктің баяулауына және өсімдік өнімділігінің төмендеуіне әкеледі. Топырақтағы азоттың оңтайлы концентрациясы вегетативті өсуді жеделдетуге, жасыл массаның өсуіне және күшті тамыр жүйесінің қалыптасуына ықпал етеді. Алайда, бұл элементтің артық болуы өсімдіктерде нитраттардың артық жиналуына әкелуі мүмкін, бұл олардың тағамдық құндылығын төмендетеді.



4-сурет – Топырақ талдауының нәтижелері

Зерттелетін үлгілерде фосфордың мөлшері 20-дан 30 мг/кг-ға дейін өзгереді, бұл жеткілікті қауіпсіздік деңгейін көрсетеді. Фосфор аденозинтрифосфаттың (АТФ), нуклеин қышқылдарының және фосфолипидтердің құрамына кіретін энергия алмасу процестеріне қатысады. Бұл элементтің жетіспеушілігі өсудің баяулауынан, тамыр жүйесінің әлсіреуінен және өсімдіктердің стресс факторларына төзімділігінің төмендеуінен көрінеді. Фосфордың ассимиляциясы топырақтың рН деңгейіне байланысты екенін ескеру керек: 6,0–7,0 диапазонында ол өсімдіктер үшін ең қолжетімді түрде кездеседі.

Калий мөлшері 100-дан 130 мг/кг-ға дейін өзгереді, бұл осы элементпен қамтамасыз етудің жоғары деңгейін көрсетеді. Калий жасушалардың осморегуляциясында маңызды рөл атқарады, ферменттік жүйелерді белсендіреді, су балансын реттейді және өсімдіктердің құрғақшылыққа, ауруларға және төмен температураға төзімділігін арттырады. Сонымен қатар ол жеміс сапасын жақсартады, тамыр дақылдарындағы қантты арттырады және өсімдік тіндерінің механикалық беріктігіне әсер етеді. Калий жетіспейтін топырақтарда тургордың әлсіреуі, өсудің баяулауы және өнімділіктің төмендеуі байқалады.

Ұсынылған деректерді талдау топырақтың жоғары ықтимал құнарлылығына ие екенін көрсетеді, бірақ қоректік заттардың қолжетімділік динамикасы ауа-райына, микробиотаның құ-

рамына және тыңайтқыштарды пайдалану қарқындылығына байланысты өзгеруі мүмкін.

Келесі факторларды ескеру маңызды:

- 5-6 рН балансы қоректік заттардың оңтайлы қол жетімділігін қамтамасыз етеді.

- Гумустың жоғары деңгейі топырақ құрылымын жақсартуға және ылғал ұстау қабілетін арттыруға көмектеседі.

- Азоттың орташа деңгейі бақылауды қажет етеді, өйткені оның мөлшері ауа райына және органикалық заттардың минералдану процестеріне байланысты тез өзгереді.

- Фосфор мен калийдің жеткілікті мөлшері өсімдіктердің қалыпты дамуын және егіннің қалыптасуын қамтамасыз етеді.

Практикалық ұсыныстар:

- рН түзету: қышқылдықтың төмендеу үрдісімен (рН 6,0 және одан төмен) топырақ қышқылдығын бейтараптандыру үшін әк тыңайтқыштарын (доломит ұны, әктас) қолдануға болады.

- Органикалық тыңайтқыштар: гумус деңгейін ұстап тұру үшін топырақтың биологиялық белсенділігін арттыруға көмектесетін компост, гумус және жасыл көңді қолданған жөн.

- Азот тыңайтқыштары: азот мөлшері 15 мг/кг-нан төмен болған кезде, әсіресе өсімдіктердің белсенді өсуінің көктемгі кезеңінде аммиак селитрасын немесе мочевины қолдану ұсынылады.

- Фосфор тыңайтқыштары: фосфор тапшылығы жағдайында (20 мг/кг) суперфосфаттарды немесе фосфорит ұнын қолданған жөн.

- Калий тыңайтқыштары: калий 100 мг/кг-нан төмендеген кезде калий тұздарын немесе калий сульфатын қолдануға болады, әсіресе осы элементті қажет ететін дақылдар үшін.

Топырақ талдауы зерттелетін учаскенің макронутриенттермен, қолайлы қышқылдықпен және органикалық заттардың жақсы құрамымен жоғары қамтамасыз етілетіндігін көрсетті. Бұл тыңайтқыштарды ұтымды қолдану, агротехникалық шаралар және топырақтың химиялық құрамын бақылау арқылы сақтауға және жақсартуға болатын топырақтың ықтимал жоғары құнарлылығын көрсетеді. Қоректік заттардың мазмұнын үнемі бақылау ұрықтандыру стратегияларын түзетуге және өсірілген дақылдардың өнімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Деректердің растығын дәлелдеу дисперсиялық талдау (ANOVA) формуласына сүйене отырып, жүргізілді:

$$F = \frac{MS_{\text{топаралық}}}{MS_{\text{топішілік}}} = \frac{0.180}{0.010} = 18.00$$

мұнда:

$$MS_{\text{межгрупп}} = \frac{SS_{\text{топаралық}}}{df_{\text{топаралық}}} = \frac{0.180}{1} = 0.180$$

$$MS_{\text{внутригрупп}} = \frac{SS_{\text{топішілік}}}{df_{\text{топішілік}}} = \frac{0.040}{4} = 0.010$$

$SS_{\text{топарасындағы}} = 0.180$ – топтар арасындағы ауытқулардың қосындысы,

$SS_{\text{топішіндегі}} = 0.140$ – топтардың ішіндегі ауытқулардың қосындысы,

$df_{\text{топарасындағы}} = 1$ – топтар арасындағы еркіндік дәрежесі,

$df_{\text{топішіндегі}} = 1$ – топтардың ішіндегі еркіндік дәрежесі.

Пирсон корреляция коэффициенті:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} = 0.9956$$

x_i / y_i – зерттелген айнымалылар,

$x = 1.96$ – топырақтағы гумус деңгейінің орташа мәні,

$y = 3.88$ – көшеттердің биіктігінің орташа мәні.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, топырақ сипаттамаларының (рН, гумус, макроэлементтер) *Juglans nigra*-ның биометриялық көрсеткіш-

теріне әсері статистикалық тұрғыда маңызды ($p < 0.05$). Гумус деңгейі мен өсімдіктің биіктігі арасындағы корреляция коэффициенті $r = 0.9956$ ($p = 0.00035$), бұл екі көрсеткіш арасындағы өте күшті оң байланыс бар екенін көрсетеді.

Дисперсиялық талдау нәтижесінде көшеттердің өсуіне топырақтағы ылғалдың мөлшері ең ықпалды фактор екені анықталды ($p = 0.00183$). Ылғал жеткілікті болған жағдайда өсімдіктердің орташа биіктігі 15-20%-ға жоғары болды. Статистикалық F-критерий мәні 18.00-ге тең болып, ылғалдылық деңгейлері арасындағы айырмашылықтың маңызды екенін көрсетті.

Жалпы, зерттеу нәтижелері *J. nigra* Оңтүстік Қазақстан аймағында қолайлы бейімделуін және топырақ-климаттық факторлардың оның өсуіне айтарлықтай әсер ететінін көрсетті. Бұл зерттеудің қорытындылары *J. nigra* жерсіндіру және орман шаруашылығында қолдану үшін ұсыныстар әзірлеуде пайдалы болуы мүмкін.

Қорытынды

Зерттеу барысында ХҚТУ ботаникалық бағы жағдайында *J. nigra* өсуінің морфологиялық және физиологиялық ерекшеліктері анықталды. Алынған деректер *J. nigra* Оңтүстік Қазақстанның климаттық жағдайларына жоғары бейімделу қабілетін көрсетеді. Фенологиялық бақылаулар орташа вегетациялық кезеңнің 153-160 күн екенін және қашудың белсенді өсуі тамызға дейін жалғасатынын көрсетті. Биометриялық өлшеулер көшеттердің биіктігі 1,0–2,1 м, магистральдың диаметрі 2,2 – 3,2 см, ал өскіннің максималды өсуі 40 см-ге жететіндігін анықтады. Жапырақ аппаратының морфологиялық көрсеткіштері (жапырақ такталарының ұзындығы 13-19 см, жапырақтардың саны 12-17) өсімдіктердің жоғары фотосинтетикалық белсенділігін көрсетеді.

Физиологиялық зерттеулер жапырақтардың ылғалдылық деңгейі 60% – дан 75% – ға дейін өзгеретінін көрсетті, бұл құрғақ климат жағдайында транспирацияның бейімделу механизмдерін көрсетеді. Анатомиялық талдау *J. nigra* дамыған механикалық ұлпасы, кутикуланың қалыңдығы және ксилемадағы үлкен тамырлары бар екенін анықтады, бұл судың тиімді қозғалысына және стресс факторларына төзімділіктің жоғарылауына ықпал етеді. Жапырақ құрылымының топографиялық талдауы астыңғы жағындағы стоматалардың басым орналасуын растады, бұл ылғалдың жоғалуын азайтады.

Топырақ сипаттамаларын талдау РН 5–6 диапазонында, қарашірік мөлшері – 3–4,4%, азот – 15–25 мг/кг, фосфор – 20–30 мг/кг, калий – 100–130 мг/кг екенін көрсетті. гумустың жоғары деңгейі және макронутриенттердің жеткілікті мөлшері *Juglans nigra* өсуінің оңтайлы жағдайларын қамтамасыз етеді, бірақ қол жетімділік динамикасы қоректік заттар қосымша бақылауды қажет етеді.

Статистикалық талдау топырақ-климаттық факторлардың *J. nigra* өсуі мен дамуына айтарлықтай әсерін растады. Гумустың құрамы мен өсімдіктердің биіктігі арасындағы корреляциялық коэффициент $r = 0.9956$ ($p = 0.00035$) болды, бұл күшті оң тәуелділікті көрсетеді. Дисперсиялық талдау (ANOVA) көшеттердің өсуіне әсер ететін негізгі фактор топырақтың ылғалдылық деңгейі ($p = 0.00183$) екенін анықтады, оңтайлы ылғалдылық жағдайында өсімдіктердің орташа биіктігі 15–20% жоғары болды. F-критерийінің мәні 18.00 болды, бұл топтар арасындағы статистикалық маңызды айырмашылықтарды растайды.

Алынған нәтижелерді алдыңғы зерттеулермен салыстыру Оңтүстік Қазақстан жағдайындағы *J. nigra* Солтүстік Америка мен Еуропадағы ұқсас зерттеулермен ұқсас өсу мен даму көрсеткіштерін көрсететінін көрсетеді. Алайда, механикалық тіндердің дамуының жоғарылауы және Парақ аппараттарының өзгерген параметрлері сияқты анықталған бейімделу механизмдері жаңа экологиялық жағдайларда түрдің жоғары икемділігін көрсетеді.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы Қазақстанда жасанды интродукция жағдайында *J. Nigra* морфологиялық, физиологиялық және анатомиялық параметрлерін кешенді талдаудан тұрады. Алғаш рет биометриялық көрсеткіштердің топырақ сипаттамаларымен корреляциясын бағалау жүргізілді, бұл белгілі бір аймақта түрді өсіру әлеуетін болжауға мүмкіндік береді.

Алынған нәтижелердің практикалық маңыздылығы Қазақстанның құрғақ өңірлерінде көгалдандыру және орманды қалпына келтіру іс-шаралары үшін *J. nigra* пайдалану мүмкіндігінде жатыр. Екпелердің өмір сүруін және өнімділігін арттыру үшін топырақ ылғалдылығын бақылауды және минералды қоректенуді оңтайландыруды қоса алғанда, қосымша агротехникалық іс-шараларды жүргізу ұсынылады. Нәтижелер климаттың өзгеруі жағдайында жаңа ағаш түрлерін енгізу және бейімдеу бағдарламаларын әзірлеу кезінде пайдаланылуы мүмкін.

Қаржыландыру көзі

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасының Жоғары білім және ғылым министрлігінің Ғылым комитеті (грант ЖТН BR24992814) қаржыландыруымен жүзеге асырылды.

Мүдделер қақтығысы

Барлық авторлар мақаланың мазмұнын оқып, танысты және мүдделер қақтығысы жоқ.

Әдебиеттер

1. Nicolescu V. N., Karoly R., Torsten V., Jean-Charles B., Brus R. A review of black walnut (*Juglans nigra* L.) ecology and management in Europe // *Trees*. – 2020. – Vol. 34. – P. 1087–1112. – DOI: 10.1007/s00468-020-01988-7.
2. Bishop B., Meier N., Coggeshall M., Lovell S., Revord R. A review to frame the utilization of Eastern black walnut (*Juglans nigra* L.) cultivars in alley cropping systems // *Agroforestry Systems*. – 2024. – Vol. 98, № 2. – P. 309–321. – DOI: 10.1007/s10457-023-00909-0.
3. Ma W., Wu Q., Xu Y., Kuca K. Exploring mycorrhizal fungi in walnut with a focus on physiological roles // *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. – 2021. – Vol. 49, № 2. – P. 12363–12363. – DOI: 10.15835/nbha49212363.
4. Sapronova D., Belyaev A., Khuzhakhmetova A. Technological aspects of growing *Juglans nigra* (L.) with closed root system for agroforestry in arid regions // *Research on Crops*. – 2023. – T. 24, № 4. – C. 784–788. – DOI: 10.31830/2348-7542.2023.ROC-1023.
5. Хохлов С. Ю., Корниенко П. С., Плугатарь Ю. В. Перспективы производства саженцев ореха грецкого (*Juglans regia* L.), привитых на сеянцах ореха черного (*Juglans nigra* L.) // *Бюллетень ГНБС*. – 2022. – Вып. 142. – С. 106. – ISSN: 0513-1634.
6. Sitz R. A., Luna E., Caballero J., Tisserat N., Cranshaw W., McKenna J., Stolz J., Stewart J. Eastern black walnut (*Juglans nigra* L.) originating from native range varies in their response to inoculation with *Geosmithia morbida* // *Frontiers in Forests and Global Change*. – 2021. – Vol. 4. – P. 627911. – DOI: 10.3389/ffgc.2021.627911.
7. Kairova G., Ismagulova E., Oleichenko S., Basim H., Tursunova A., Korabayeva S. Identification of the main diseases of walnut in the southern fruit-growing zone of Kazakhstan // *Izdenister Natigeler*. – 2024. – Vol 1 (101). – P. 91–102. – DOI: 10.37884/1-2024/10.

8. Yegizbayeva T. K., García S., Yausheva T., Kairova M., Apushev A., Oleichenko S., Licea-Moreno R. Unraveling factors affecting micropropagation of four Persian walnut varieties // *Agronomy*. – 2021. – Vol. 11, № 7. – P. 1417. – DOI: 10.3390/agronomy11071417.
9. Janković S., Stankovic J., Jankovic D., Milatovic D. Morphology and morphogenesis of female reproductive organs in some walnut (*Juglans regia* L.) genotypes // *Scientia Horticulturae*. – 2021. – Vol. 289. – P. 110471. – DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110471.
10. Pozdnyakov D. I., Dayronas Zh., Zolotykh D., Geraschenko A., Shabanova N. Neuroprotective effects of a 40% ethanol extract of the black walnut bark (*Juglans nigra* L.) // *Research Results in Pharmacology*. – 2022. – Vol. 8, № 2. – P. 59–68. – DOI: 10.3897/rpharmacology.8.77172.
11. Куркин В. А., Зименкина Н. И. Исследование компонентного состава листьев видов рода орех (*Juglans* L.) методом ВЭЖХ // *Химия растительного сырья*. – 2022. – Т 4. – С. 231–239.
12. Osztie R., Czegledi T., Ross S., Stipicz B., Kalydi E., Beni S., Boldizsar I., Riethmuller E., Bosze S., Alberti A. Comprehensive characterization of phytochemical composition, membrane permeability, and antiproliferative activity of *Juglans nigra* polyphenols // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2024. – Vol. 25, № 13. – P. 6930. – DOI: 10.3390/ijms25136930.
13. Pérez-López L., Argente L., Peruelas-Rubio O., Nunez J. Water regime variability during the flowering phenophase of white and yellow grain maize hybrids and the relation with grain yield // *Ciência e Agrotecnologia*. – 2024. – Vol. 48. – P. 5724. – DOI: 10.1590/1413-7054202448005724.
14. Cahyono St. Design and Analysis of Experiments // Montgomery, Douglas C. Design and analysis of experiments / Douglas C. Montgomery. – Eighth edition. – 2022. – P. 1-118.
15. Popovych V., Voloshchysyn A., Lysyi N., Petlovanyi M., Shuplat T. Natural phytomelioration processes on rock dumps of abandoned coal mines (Ukraine) // *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*. – 2024. – Vol. 39, № 5. – P. 63–73. – DOI: 10.17794/rgn.2024.5.4.
16. Magnier M. The effect of soil conditions on climate-growth correlations at two *Pinus nigra* sites // *Dendrobiology*. – 2025. – Vol. 93. – P. 60–68. – DOI: 10.12657/denbio.093.004.
17. García-Saucedo F., Morote F.A., Picazo M., Abellan M. Responses of enzymatic and microbiological soil properties to the site index and age gradients in Spanish black pine (*Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii*) Mediterranean forests // *Forests*. – 2024. – Vol. 15, № 1. – P. 113. – DOI: 10.3390/f15010113. -P. 1-118.
18. Żołnowski A. C., Rolka E., Kalinowski L. Effects of Organic Amendments on the Morphology and Chemical Composition of Black Mustard (*Sinapis nigra* L.) Grown on Soil Contaminated with Copper // *Agronomy*. – 2024. – Vol. 14, № 5. – P. 995. – DOI: 10.3390/agronomy14050995.
19. Li H., Zhang X., Li Z., Tan X. A review of research on tree risk assessment methods // *Forests*. – 2022. – Vol. 13, № 10. – P. 1556. – DOI: 10.3390/f13101556.
20. Yu H., Zhang J., Zhang S., Han Z. Bionic structures and materials inspired by plant leaves: A comprehensive review for innovative problem-solving // *Progress in Materials Science*. – 2023. – Vol. 139. – P. 101181. – DOI: 10.1016/j.pmatsci.2023.101181.
21. Leister D. Enhancing the light reactions of photosynthesis: Strategies, controversies, and perspectives // *Molecular Plant*. – 2023. – Vol. 16, № 1. – P. 4–22. – DOI: 10.1016/j.molp.2022.08.005.
22. Tkachenko M., Zadubinna Y., Kondratiuk I., Tsiuk O., Tsiuk Y. Changes in physical and chemical properties and humus content of typical black soil in treatment and fertilizer systems // *AgroLife Scientific Journal*. – 2023. – Vol. 12, № 1. – P. 215–221. – DOI: 10.17930/AGL2023125.
23. Potdar R. P., Shirolkar M., Verma A., More P., Kulkarni A. Determination of soil nutrients (NPK) using optical methods: a mini review // *Journal of Plant Nutrition*. – 2021. – Vol. 44, № 12. – P. 1826–1839. – DOI: 10.1080/01904167.2021.1884702.
24. Nadeem F., Abbas S., Waseem F., Najeed A., Mahmood R., Bibi S., Wang L., Deng L., Yuan H., Wang R., Zhong Y., Li X., Li XX. Phosphorus (P) and Zinc (Zn) nutrition constraints: A perspective of linking soil application with plant regulations // *Environmental and Experimental Botany*. – 2024. – P. 105875. – DOI: 10.1016/j.envexpbot.2024.105875.
25. Hue N. Soil acidity: Development, impacts, and management // *Structure and functions of pedosphere*. – Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. – C. 103–131. – DOI: 10.1007/978-981-16-8770-9_5.
26. Hasanuzzaman M., Bhuyan M., Nahar K., Hossain Md., Mahmud J., Hossen S., Masud A., Moumita M., Fujita M. Potassium: a vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses // *Agronomy*. – 2018. – Vol. 8, № 3. – P. 31. – DOI: 10.20944/preprints201801.0223.v1.

References

1. Nicolescu V. N., Karoly R., Torsten V., Jean-Charles B., Brus R. A review of black walnut (*Juglans nigra* L.) ecology and management in Europe // *Trees*. – 2020. – Vol. 34. – P. 1087–1112. – DOI: 10.1007/s00468-020-01988-7.
2. Bishop B., Meier N., Coggeshall M., Lovell S., Revord R. A review to frame the utilization of Eastern black walnut (*Juglans nigra* L.) cultivars in alley cropping systems // *Agroforestry Systems*. – 2024. – Vol. 98, № 2. – P. 309–321. – DOI: 10.1007/s10457-023-00909-0.
3. Ma W., Wu Q., Xu Y., Kuca K. Exploring mycorrhizal fungi in walnut with a focus on physiological roles // *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. – 2021. – Vol. 49, № 2. – P. 12363–12363. – DOI: 10.15835/nbha49212363.
4. Saprionova D., Belyaev A., Khuzhakhmetova A. Technological aspects of growing *Juglans nigra* (L.) with closed root system for agroforestry in arid regions // *Research on Crops*. – 2023. – Т. 24, № 4. – С. 784–788. – DOI: 10.31830/2348-7542.2023.ROC-1023.

5. Khokhlov S. Yu., Kornienko P. S., Plugatar' Yu. V. Perspektivy proizvodstva sazhentsev oreha greckogo (*Juglans regia* L.), privitykh na seyantsakh oreha chernogo (*Juglans nigra* L.) // *Byulleten' GNBS*. – 2022. – Issue 142. – P. 106. – ISSN: 0513-1634.
6. Sitz R. A., Luna E., Caballero J., Tisserat N., Cranshaw W., McKenna J., Stolz J., Stewart J. Eastern black walnut (*Juglans nigra* L.) originating from native range varies in their response to inoculation with *Geosmithia morbida* // *Frontiers in Forests and Global Change*. – 2021. – Vol. 4. – P. 627911. – DOI: 10.3389/ffgc.2021.627911.
7. Kairova G., Ismagulova E., Oleichenko S., Basim H., Tursunova A., Korabayeva S. Identification of the main diseases of walnut in the southern fruit-growing zone of Kazakhstan // *Izdenister Natigeler*. – 2024. – Vol 1 (101). – P. 91–102. – DOI: 10.37884/1-2024/10.
8. Yegizbayeva T. K., García S., Yausheva T., Kairova M., Apushev A., Oleichenko S., Licea-Moreno R. Unraveling factors affecting micropropagation of four Persian walnut varieties // *Agronomy*. – 2021. – Vol. 11, № 7. – P. 1417. – DOI: 10.3390/agronomy11071417.
9. Janković S., Stankovic J., Jankovic D., Milatovic D. Morphology and morphogenesis of female reproductive organs in some walnut (*Juglans regia* L.) genotypes // *Scientia Horticulturae*. – 2021. – Vol. 289. – P. 110471. – DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110471.
10. Pozdnyakov D. I., Dayronas Zh., Zolotikh D., Geraschenko A., Shabanova N. Neuroprotective effects of a 40% ethanol extract of the black walnut bark (*Juglans nigra* L.) // *Research Results in Pharmacology*. – 2022. – Vol. 8, № 2. – P. 59–68. – DOI: 10.3897/rrpharmacology.8.77172.
11. Kurkin V. A., Zimenkina N. I. Issledovanie komponentnogo sostava listev vidov roda *Juglans* metodom VEZhKh // *Khimia rastitel'noy syr'ya*. – 2022. – No. 4. – P. 231–239.
12. Osztie R., Czegledi T., Ross S., Stipicz B., Kalydi E., Beni S., Boldizsar I., Riethmuller E., Bosze S., Alberti A. Comprehensive characterization of phytochemical composition, membrane permeability, and antiproliferative activity of *Juglans nigra* polyphenols // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2024. – Vol. 25, № 13. – P. 6930. – DOI: 10.3390/ijms25136930.
13. Pérez-López L., Argente L., Peruelas-Rubio O., Nunez J. Water regime variability during the flowering phenophase of white and yellow grain maize hybrids and the relation with grain yield // *Ciência e Agrotecnologia*. – 2024. – Vol. 48. – P. 5724. – DOI: 10.1590/1413-7054202448005724.
14. Cahyono St. Design and Analysis of Experiments // Montgomery, Douglas C. Design and analysis of experiments / Douglas C. Montgomery. – Eighth edition. – 2022. – P. 1-118.
15. Popovych V., Voloshchysyn A., Lysyi N., Petlovanyi M., Shuplat T. Natural phytomelioration processes on rock dumps of abandoned coal mines (Ukraine) // *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*. – 2024. – Vol. 39, № 5. – P. 63–73. – DOI: 10.17794/rgn.2024.5.4.
16. Magnier M. The effect of soil conditions on climate-growth correlations at two *Pinus nigra* sites // *Dendrobiology*. – 2025. – Vol. 93. – P. 60–68. – DOI: 10.12657/denbio.093.004.
17. García-Saucedo F., Morote F.A., Picazo M., Abellan M. Responses of enzymatic and microbiological soil properties to the site index and age gradients in Spanish black pine (*Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii*) Mediterranean forests // *Forests*. – 2024. – Vol. 15, № 1. – P. 113. – DOI: 10.3390/f15010113. -P. 1-118.
18. Żołnowski A. C., Rolka E., Kalinowski L. Effects of Organic Amendments on the Morphology and Chemical Composition of Black Mustard (*Sinapis nigra* L.) Grown on Soil Contaminated with Copper // *Agronomy*. – 2024. – Vol. 14, № 5. – P. 995. – DOI: 10.3390/agronomy14050995.
19. Li H., Zhang X., Li Z., Tan X. A review of research on tree risk assessment methods // *Forests*. – 2022. – Vol. 13, № 10. – P. 1556. – DOI: 10.3390/f13101556.
20. Yu H., Zhang J., Zhang S., Han Z. Bionic structures and materials inspired by plant leaves: A comprehensive review for innovative problem-solving // *Progress in Materials Science*. – 2023. – Vol. 139. – P. 101181. – DOI: 10.1016/j.pmatsci.2023.101181.
21. Leister D. Enhancing the light reactions of photosynthesis: Strategies, controversies, and perspectives // *Molecular Plant*. – 2023. – Vol. 16, № 1. – P. 4–22. – DOI: 10.1016/j.molp.2022.08.005.
22. Tkachenko M., Zadubinna Y., Kondratiuk I., Tsiuk O., Tsiuk Y. Changes in physical and chemical properties and humus content of typical black soil in treatment and fertilizer systems // *AgroLife Scientific Journal*. – 2023. – Vol. 12, № 1. – P. 215–221. – DOI: 10.17930/AGL2023125.
23. Potdar R. P., Shirolkar M., Verma A., More P., Kulkarni A. Determination of soil nutrients (NPK) using optical methods: a mini review // *Journal of Plant Nutrition*. – 2021. – Vol. 44, № 12. – P. 1826–1839. – DOI: 10.1080/01904167.2021.1884702.
24. Nadeem F., Abbas S., Waseem F., Najeed A., Mahmood R., Bibi S., Wang L., Deng L., Yuan H., Wang R., Zhong Y., Li X., Li XX. Phosphorus (P) and Zinc (Zn) nutrition constraints: A perspective of linking soil application with plant regulations // *Environmental and Experimental Botany*. – 2024. – P. 105875. – DOI: 10.1016/j.envexpbot.2024.105875.
25. Hue N. Soil acidity: Development, impacts, and management // *Structure and functions of pedosphere*. – Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. – C. 103–131. – DOI: 10.1007/978-981-16-8770-9_5.
26. Hasanuzzaman M., Bhuyan M., Nahar K., Hossain Md., Mahmud J., Hossen S., Masud A., Moumita M., Fujita M. Potassium: a vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses // *Agronomy*. – 2018. – Vol. 8, № 3. – P. 31. – DOI: 10.20944/preprints201801.0223.v1.

Авторлар туралы мәліметтер:

Исаев Ғани Исаұлы – Қожжа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің қауымдастырылған профессоры, ҚазҰЖҒА корреспондент мүшесі (Қазақстан, Түркістан қ., e-mail: gani.isayev@ayu.edu.kz).

Маулен Биганым Қожжахметқызы – Қожжа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің магистранты (Қазақстан, Түркістан қ., e-mail: biganym.maulen@ayu.edu.kz);

Салыбекова Нұрдана Нұртайқызы – PhD, Қожжа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің қауымдастырылған профессоры (Қазақстан, Түркістан қ., e-mail: nurdana.salybekova@ayu.edu.kz).

Икрамов Ильяс Ғалымбетұлы – PhD, Аймақтық инновациялық университеті (Қазақстан, Шымкент қ., e-mail: ilias_91_24@mail.ru).

Әзімбай Абылайхан Исаханұлы – Қожжа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің аға оқытушысы (Қазақстан, Түркістан қ., e-mail: abylayhan.azimby@mail.ru).

Балтабай Ербол Нұрсұлтанұлы – Қожжа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің магистр оқытушысы (Қазақстан, Түркістан қ., yerbol.baltabay@ayu.edu.kz).

Құлымбет Қанат Қайратұлы (корреспондент-автор) – PhD, Ө.О. Оспанов атындағы Қазақ топырақтану және агрохимия ғылыми-зерттеу институты, Топырақ экологиясы бөлімінің ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: qulymbet.qanat@gmail.com).

Information about authors:

Issayev Gani Isaully – associate professor of the International Kazakh-Turkish university named after Khoja Ahmed Yasawi, corresponding member of the KazNAU (Turkestan, Kazakhstan, e-mail: gani.isayev@ayu.edu.kz).

Maulen Biganym Kozhakhmetkyzy – master’s Student of The International Kazakh-Turkish university named after Khoja Ahmed Yasawi (Turkestan, Kazakhstan, e-mail: biganym.maulen@ayu.edu.kz).

Salibekova Nurdana Nurtaevna – PhD, associate professor of the International Kazakh-Turkish university named after Khoja Ahmed Yasawi (Turkestan, Kazakhstan, e-mail: nurdana.salybekova@ayu.edu.kz).

Ikramov Ilyas Galimbetulu – PhD, Regional Innovation University (Kazakhstan, Shymkent, e-mail: ilias_91_24@mail.ru).

Azimbay Aibylaikhan Isakhanuly-senior lecturer of the International Kazakh-Turkish university named after Khoja Ahmed Yasawi (Turkestan, Kazakhstan, e-mail: abylayhan.azimby@mail.ru).

Baltabay Yerbol Nursultanovich – lecturer (master’s degree) of the International Kazakh-Turkish university named after Khoja Ahmed Yasawi (Turkestan, Kazakhstan, e-mail: yerbol.baltabay@ayu.edu.kz).

Kulymbet Kanat Kairatuly (corresponding author) – PhD, Researcher at the Department of soil ecology, U.U. Uspanov Kazakh Research Institute of Soil Science and Agrochemistry, (Almaty, Kazakhstan, email: qulymbet.qanat@gmail.com).

Сведения об авторах:

Исаев Ғани Исаұлы – ассоциированный профессор Международного казахско-турецкого университета имени Ходжи Ахмеда Ясави, член-корреспондент Казахской национальной академии естественных наук (КазНАЕН) (Туркестан, Казахстан, e-mail: gani.isayev@ayu.edu.kz).

Маулен Биганым Қожжахметқызы – магистрант Международного казахско-турецкого университета имени Ходжи Ахмеда Ясави (Туркестан, Казахстан, e-mail: biganym.maulen@ayu.edu.kz).

Салыбекова Нұрдана Нұртайқызы – PhD, ассоциированный профессор Международного казахско-турецкого университета имени Ходжи Ахмеда Ясави (Туркестан, Казахстан, e-mail: nurdana.salybekova@ayu.edu.kz).

Икрамов Ильяс Ғалымбетович – PhD, Региональный инновационный университет (Шымкент, Казахстан, e-mail: ilias_91_24@mail.ru).

Азимбай Абылайхан Исаханович – старший преподаватель Международного казахско-турецкого университета имени Ходжи Ахмеда Ясави (Туркестан, Казахстан, e-mail: abylayhan.azimby@mail.ru).

Балтабай Ербол Нұрсұлтанович – магистр, преподаватель Международного казахско-турецкого университета имени Ходжи Ахмеда Ясави (Туркестан, Казахстан, e-mail: yerbol.baltabay@ayu.edu.kz).

Құлымбет Қанат Қайратович (корреспондентный автор) – PhD, научный сотрудник отдела экологии почв Казахского научно-исследовательского института почвоведения и агрохимии имени У.У. Успанова (Алматы, Казахстан, e-mail: qulymbet.qanat@gmail.com).

Келіп түсті: 7 сәуір 2025 жыл
Қабылданды: 20 қараша 2025 жыл