

А.Д. Усманова* , А.Ч. Каташева ,
С.А. Нуkenова , А.М. Батырбаева 

Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: aizhamalduszhonovna@mail.ru

ЭНДОФИТТІ МИКРООРГАНИЗМДЕРДІҢ АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ ДАҚЫЛДАРЫНЫҢ ТОПЫРАҚ ҚҰРҒАҚШЫЛЫҒЫ ЖАҒДАЙЫНДА ӨСУІ МЕН ДАМУЫНА ПРОТЕКТОРЛЫҚ ӘСЕРІ

Құрғақшылық – өсімдіктердің тіршілікке қабілеттілігі мен өнімділігіне айтарлықтай әсер ететін абиотикалық стресс факторларының бірі. Су тапшылығы митохондриялар мен хлоропластардағы электрон тасымалдау үдерістерінің бұзылуына әкеліп, белсенді оттегі түрлерінің шамадан тыс түзілуін және тотығу стрессінің дамуын туындатады. Тотығу стрессі өсімдіктерде молекулалық, биохимиялық және физиологиялық деңгейлерде өзгерістерге себеп болады.

Қазақстан ауыл шаруашылығының негізгі мәселелерінің бірі – су ресурстарының тапшылығы. Ел аумағындағы жайылымдық жерлердің едәуір бөлігі не пайдаланылмайды, не топырақ деградациясына ұшыраған, ал қуаң аймақтардағы ауыл шаруашылығының өнімділігі төмен деңгейде қалып отыр. Қазіргі уақытта абиотикалық факторлардың, соның ішінде құрғақшылықтың теріс әсерін төмендету әдістерінің бірі ретінде «прайминг» деп аталатын тәсіл кеңінен қолданылуда. Аталған әдіс тұқымдарды, көшеттерді немесе жас өсімдіктерді олардың минералдық және бейімделу күйін жақсартатын биологиялық агенттермен өңдеуді қамтиды. Осыған байланысты құрғақшылыққа төзімділікті арттыра алатын микроорганизмдер ауыл шаруашылығы дақылдары үшін ерекше қызығушылық тудырады, өйткені олар өсімдіктердің стресс факторларына қарсы тұру қабілетін күшейтіп, өнімділікті сақтауға ықпал етеді.

Мақалада дәрілік өсімдіктерден бөлініп алынған өсімдік өсуінің ынталандыратын микроорганизм штаммдарын іріктеу бойынша деректер ұсынылған. Жүргізілген скрининг нәтижесінде 3 дәрілік өсімдіктен 67 изолят бөлініп алынып, олардың ішінен ең жоғары белсенділік көрсеткен әрі бірнеше құнды қасиеттерге ие 3 штамм таңдалды. Іріктелген эндофитті микроорганизмдер өсімдіктердің физиологиялық үдерістеріне (морфометриялық көрсеткіштер мен фотосинтез) оң әсер етті, сондай-ақ бос пролин мөлшерін төмендетуді ынталандырып, жасушалардағы судың құрылымдануына ықпал етті және өсімдіктердің тұрғырлық қысымын азайтты.

Түйін сөздер: микроорганизмдер, абиотикалық стресс, прайминг, ауылшаруашылық дақылдары, өсуді ынталандыру белсенділігі.

A.D. Usmanova*, A.Ch. Katasheva, S.A. Nukanova, A.M. Batyrbaeva

Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: aizhamalduszhonovna@mail.ru

Protective effect of endophytic microorganisms on the growth and development of agricultural crops under drought conditions

Drought is one of the abiotic stress factors that significantly affects plant viability and productivity. Water deficiency leads to disruption of electron transport processes in mitochondria and chloroplasts, resulting in excessive generation of reactive oxygen species and the development of oxidative stress. Oxidative stress causes changes in plants at the molecular, biochemical, and physiological levels.

One of the main challenges of agriculture in Kazakhstan is the shortage of water resources. A significant portion of pasture lands across the country is either unused or has undergone soil degradation, while agricultural productivity in arid regions remains low. Currently, one of the widely applied approaches to mitigate the negative impact of abiotic factors, including drought, is the method known as “priming.” This approach involves the treatment of seeds, seedlings, or young plants with biological agents that enhance their mineral nutrition and adaptive capacity. In this context, microorganisms capable of increasing drought tolerance are of particular interest for agricultural crops, as they strengthen plants’ ability to withstand stress factors and contribute to maintaining yield.

The article presents data on the selection of microbial strains isolated from medicinal plants that stimulate plant growth. As a result of the screening, 67 isolates were obtained from three medicinal

plants, among which three strains exhibiting the highest activity and possessing multiple valuable traits were selected. The selected endophytic microorganisms had a positive effect on plant physiological processes (morphometric parameters and photosynthesis), and also promoted a reduction in free proline content, thereby contributing to the structuring of water within cells and reducing plant turgor pressure.

Keywords: abiotic stress, microorganisms, priming, agricultural crops, plant growth-promoting activity.

А.Д. Усманова*, А.Ч. Каташева, С.А. Нуменова, А.М. Батырбаева

Алматынський технологічний університет, Алматы, Казахстан

*e-mail: aizhamalduszhanoyna@mail.ru

Протекторное действие эндофитных микроорганизмов на рост и развитие сельскохозяйственных культур в условиях почвенной засухи

Засуха является одним из абиотических стрессовых факторов, оказывающих значительное влияние на жизнеспособность и продуктивность растений. Дефицит воды приводит к нарушению процессов электронного транспорта в митохондриях и хлоропластах, что вызывает избыточное образование активных форм кислорода и развитие окислительного стресса. Окислительный стресс обуславливает изменения на молекулярном, биохимическом и физиологическом уровнях в растениях.

Одной из основных проблем сельского хозяйства Казахстана является дефицит водных ресурсов. Значительная часть пастбищных земель на территории страны либо не используется, либо подверглась деградации почв, а продуктивность сельского хозяйства в засушливых регионах остается низкой. В настоящее время в качестве одного из методов снижения негативного воздействия абиотических факторов, в том числе засухи, широко применяется подход, известный как «прайминг». Данный метод включает обработку семян, рассады или молодых растений биологическими агентами, способствующими улучшению их минерального и адаптивного состояния. В этой связи микроорганизмы, способные повышать засухоустойчивость, представляют особый интерес для сельскохозяйственных культур, поскольку они усиливают способность растений противостоять стрессовым воздействиям и способствуют сохранению урожайности.

В статье представлены данные по отбору штаммов микроорганизмов, выделенных из лекарственных растений, стимулирующих рост растений. В результате проведенного скрининга из 3 лекарственных растений было выделено 67 изолятов, из них было отобрано 3, показавших наибольшую активность и обладающих сразу несколькими ценными свойствами. Отобранные эндофитные микроорганизмы оказывали положительное влияние на физиологические процессы растений (морфометрические показатели и фотосинтез), а также стимулировали снижение свободного пролина, тем самым структурируя содержание воды в клетках и снижая тургорное давление растений.

Ключевые слова: микроорганизмы, абиотический стресс, прайминг, сельскохозяйственные культуры, ростстимулирующая активность.

Кіріспе

Жауын-шашынның жалпы көлемінің азаюы және топырақтағы су қорының төмендеуі жағдайында ауылшаруашылық өсімдіктерінің өнімділігі аймаққа және климаттық жағдайларға байланысты 20–70% аралығында төмендеді (Abuqamar et al., 2009). Топырақ өсімдіктер және басқа да тірі ағзалар үшін бір мезгілде бастапқы рецептор және тіршілік ортасы қызметін атқарады. Қазіргі таңда топырақ құнарлылығы туралы классикалық түсінік тек қоректік элементтер мен суды қамтамасыз ету қабілетімен шектелмей, сонымен қатар өсімдіктердің стресс жағдайында тұрақты қызмет етуіне қажетті жағдайлар жасау қабілетін қамтиды.

Қазақстан ауыл шаруашылығы үшін ең өзекті мәселелердің бірі – су ресурстарының тапшылығы болып табылады. Елдегі 182 млн гектар жайылымдық жердің шамамен 14 млн гектары пайдаланылмайды, ал деградацияға ұшыраған топырақ аумақтарының көлемі 50 млн гектардан асады (Pandey et al., 2015). Сонымен қатар, құрғақшылыққа бейім аумақтар ауыл шаруашылығында белсенді пайдаланылғанымен, олардың өнімділігі төмен болып қала береді. Елдің ауылшаруашылық өнімдерінің едәуір бөлігі осы өңірлерде өндірілетіндіктен, климаттық және топырақтық қолайсыз жағдайлар Қазақстанның азық-түлік қауіпсіздігіне теріс әсер етуі мүмкін.

Қазіргі таңда абиотикалық стресс факторларының, соның ішінде құрғақшылықтың жағым-

сыз әсерін азайтудың перспективалық тәсілдерінің бірі – прайминг болып табылады. Бұл әдіс дәндерді, көшеттерді немесе жас өсімдіктерді биологиялық агенттермен өңдеуді қамтиды, олар өсімдіктердің минералдық және адаптивтік жағдайын жақсартып, негізгі абиотикалық стресс факторларына көпқабатты төзімділікті индуцирлейді. Осыған байланысты ауылшаруашылық дақылдарының құрғақшылыққа төзімділігін арттыра алатын микроорганизмдерге ерекше назар аударылады (Kaushal & Wani, 2024).

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеу нысаны ретінде 3 дәрілік өсімдіктен (бұрышты жалбыз (*Méntha piperita*), дәрілік шалфей (*Sālvia officinālis*), көдімгі цикорий (*Cichórium antybus*) оқшауланған 67 эндофитті микроорганизмдер алынды. Өсімдіктерді жинау орны: Алматы облысы, Алатау бөктері (43°10'29" с. е. 76°46'03" ш. б.).

Зерттеу әдістері

Өсімдіктерді жинау. Вегетативті өсу кезеңінде бір-бірінен 10 м қашықтықта орналасқан әр түрдің бес өсімдігі жиналды. Артық топырақтан арылу үшін әр өсімдіктің тамыры сумен шайқалды. Әр үлгі стерильді полиэтилен пакетіне жеке-жеке орналастырылды.

Эндофитті микроорганизмдердің бөлінуі

Өсімдік мүшелерінен (тамырлар, сабақтар, гүлдер мен жапырақтар) эндофитті микроорганизмдерді оқшаулау бактериялар үшін қоректік агар (ҚА) және микромицеттер үшін Сабу-ро қоректік ортасын қолдана отырып, өсімдік фрагменттерін орналастыру арқылы жүргізілді (Singh et al., 2018). Өсімдіктердің әр түрінен жиырма жетілген жапырақ, бес жетілген сабақ, бес гүл және бес негізгі тамыр алынды. Жиналған өсімдік мүшелері ағынды сумен жуылды, содан кейін мөлшері 0,5 см фрагменттерге кесілді (әр түрдегі өсімдіктің мүшесіне 50 дана). Бұл фрагменттер 1 мин 70% этанолға және 2 мин 3% натрий гипохлоритіне батыру арқылы зарарсыздандырылды, содан кейін эпифитті микроорганизмдерді кетіру үшін стерильді тазартылған суда 2 мин жуылды. Дақылдар 25°C температурада 14 күн бойы инкубацияланды және күн сайын тексерілді. Зарарсыздандырудың деңге-

йін тексеру мақсатында өсімдік фрагменттерін шайқаған 100 мкл су қоректік агардың бетіне себілді.

Тұқымдарды праймингтеу

Өңдеу алдында Арпа өсімдігінің тұқымдары 5%-дық хлоргексидин ерітіндісінде стерильденіп, кейін стерильді дистилденген сумен үш рет жуылды. Тәжірибеде ет-пептонды сорпада (ЕПБ) екі тәулік бойы дақылданған бактерия штамдары қолданылды. Дақылдау шарттары: температура – 37 °C, уақыты – 5 тәулік, МБК-49 шайқағышында (150 айн/мин). Бактерия суспензиясы оптикалық тығыздығы бойынша қажетті концентрацияға дейін жеткізілді. 1 г тұқымға концентрациясы 10⁸ жас/мл болатын бактерия суспензиясынан 20 мкл қосылды (Ying, 2020).

Топырақтағы құрғақшылық жағдайларын модельдеу

Зерттелетін өсімдіктердің тұқымдары себілген топырақ бастапқыда дистилденген сумен топырақтың толық ылғалдылық мөлшері 70%-ға жеткенше сумен қамтамасыз етілді (Kaushal & Wani, 2016). Өскіндер пайда болғаннан кейін бастапқы ылғалдылықты сақтау мақсатында суару жалғастырылды. Стрестік жағдай топырақ ылғалдылығын 30%-ға дейін төмендету арқылы модельденді, бұл кезде жапырақтардың солу белгілері визуалды түрде байқала бастады. Өсімдіктер 21 тәулік бойы өсіріліп, содан кейін морфометриялық және биохимиялық көрсеткіштері анықталды.

Бактеризациялаудың өсімдіктердің морфометриялық көрсеткіштеріне әсері

Тұқымдар қалыңдығы 2–5 см болатын топырақ қабатында өндіріледі. Тұқым мөлшеріне байланысты себу нормасы бір ыдысқа 7, 9, 15 және 17 тұқымды құрады. Өсу үдерістерінің көрсеткіші ретінде өскіндердің ұзындығы (см) алынды. Тұқымдардың өну шарттары мен өскін биіктігін анықтау мерзімдері тұқымдардың өнгіштігін анықтау әдістемесіне (МСТ 12038-84) сәйкес белгіленді. Астық дақылдары 19–20 °C температурада көлеңкеленген гидротермостаттарда 21 тәулік бойы өсірілді. Өнуден кейінгі топырақтың қалдық ылғалдылығы 28 ± 0,5% құрады. Тәжірибе соңында өсімдік сабақтары кесіліп, олардың ұзындығы өлшеніп, салмағы анықталды (Suwa et al., 2006).

Фотосинтетикалық пигменттердің мөлшерін анықтау

Фотосинтетикалық пигменттердің мөлшері Шлык және соавторлары ұсынған әдістеме бойынша анықталды (Rahdari & Hoseini, 2012). Жапырақ үлгілері (100 мг) аз мөлшердегі кальций карбонаты мен кварц құмымен бірге 96%-дық этанолдың 1 мл көлемінде ұнтақталды. Алынған гомогенат «Dastan» (Қырғызстан) центрифугасында 13500 айн/мин жылдамдықта 10 минут бойы центрифугаланды. Үстіңгі сұйықтық таза пробиркаларға ауыстырылып, соңғы көлемі 96%-дық этанолмен 1,5 мл-ге дейін жеткізілді.

Үлгілердің оптикалық тығыздығы Leki SS1207 UV спектрофотометрінің (Финляндия) көмегімен өлшенді.

Пигменттердің концентрациясы келесі формулалар бойынша есептелді:

$$\begin{aligned}C_a &= 11,63 \cdot D_{665} - 2,39 \cdot D_{649} \\C_\beta &= 20,11 \cdot D_{649} - 5,18 \cdot D_{665} \\C_{a+\beta} &= 6,45 \cdot D_{665} + 17,72 \cdot D_{649}\end{aligned}$$

мұндағы:

C – пигменттердің концентрациясы, мг/л;

D – сәйкес толқын ұзындығындағы оптикалық тығыздық.

Экстракттағы пигмент концентрациясы анықталғаннан кейін оның зерттелетін материалдағы мөлшері экстракт көлемі мен сынама массасын ескере отырып есептелді:

$$A = (C \cdot V) / (P \cdot 1000)$$

мұндағы:

A – өсімдік материалындағы пигмент мөлшері, мг/г шикі салмақ;

C – пигменттердің концентрациясы, мг/л;

V – пигмент экстрактының көлемі, мл;

P – өсімдік материалының навескасы, г.

Пигмент мөлшері шикі салмақтың бірлігіне шаққанда миллиграмммен көрсетілді.

Бос пролин мөлшерін анықтау

Бос пролин концентрациясы нингидрин реагентінің көмегімен анықталды (Samarah, 2005). Жаңа өсімдік материалы сульфосалицил қышқылының 3% сулы ерітіндісінде гомогенизацияланған. Гомогенат 6500 айн/мин 40 минут бойы центрифугаланды. Содан кейін CH_3COOH 2 мл,

нингидрин реагентінен 2 мл және 2 мл дайындалған экстракт сығындысы қосылды. Үлгілер 100°C температурада 1,5 сағат бойы инкубацияланып, бөлме температурасына дейін салқындалды. Спектрофотометрде сіңіру спектрі 520 нм ұзындықта өлшенді. Экстракт сығындысы қосылмаған нұсқа бақылау ретінде пайдаланылды. Пролин мөлшері стандарт ретінде Sigma пролинін (Берлингтон, Массачусетс, АҚШ) пайдаланып, калибрлеу қисығы арқылы есептелді.

Зерттеу нәтижелері мен талқылаулар

Микроорганизмдердің дәрілік өсімдіктерде таралу жиілігі

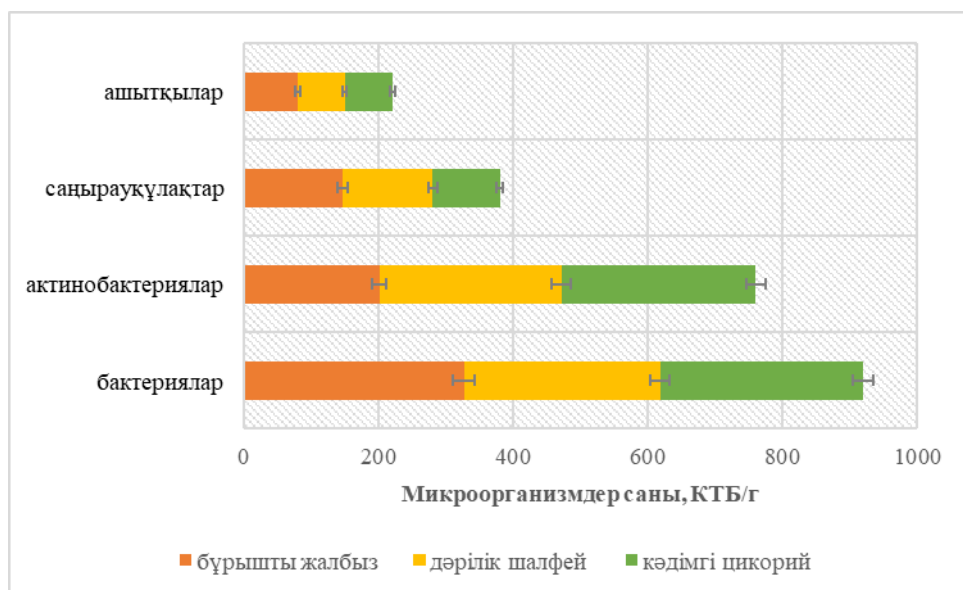
Дәрілік өсімдіктер бүкіл әлемде дәстүрлі түрде әртүрлі ауруларды емдеу мақсатында қолданылады. Олар өздерінің табиғи ортада тіршілік етуі мен дамуы үшін маңызды болып табылатын биологиялық белсенді қосылыстардың біршама спектрін синтездейді. Дәрілік өсімдіктердің биологиялық белсенді қосылыстарының құрамы өсімдіктің түріне, топырақтың жағдайына және олардың микроорганизмдермен байланысына тәуелді. Өсімдіктер синтездейтін белсенді екіншілік метаболиттер өздерімен байланысқан микробтық ассоциацияларға және олардың физиологиялық функцияларына біршама әсер етуі мүмкін (Rampino et al., 2006).

Зерттелетін дәрілік өсімдіктердің әртүрлі вегетативті және генеративті мүшелерінен бактериялар, актинобактериялар және микромицеттер бөлініп алынды. Оқшауланған микроорганизмдердің ішінде ең жиі кездесетіні бактериялар екені анықталды. Актинобактериялардың, микроскопиялық саңырауқұлақтардың, ашытқылардың саны едәуір аз болды. Сонымен, бактериялардың саны 1 г топырақта $326,8 \pm 3,6 \times 10^4$ КТБ, ал актинобактериялардың, микроскопиялық саңырауқұлақтардың және ашытқылардың саны сәйкесінше $289,7 \pm 6,2 \times 10^4$ КТБ, $145,9 \pm 5,9 \times 10^4$ КТБ және $79,8 \pm 4,4 \times 10^4$ КТБ құрады (Сурет 1).

Жүргізілген зерттеу нәтижелері көрсеткендей, микроорганизмдердің таралуы да әр өсімдіктің түрінде айырмашылық көрсетті. Сонымен, микроорганизмдердің ең жоғары таралу көрсеткіші бұрышты жалбыз өсімдігінде болса $326,8 \pm 3,6 \times 10^4$ КТБ/г, сәйкесінше, ең төмен көрсеткіш дәрілік шалфей өсімдігіне $69,8 \pm 4,6 \times 10^4$ КТБ/г тән болды.

1-сурет

Өсімдіктерде кездесетін микроорганизмдер саны



Іріктеу нәтижелері бойынша, 67 эндифиттік микроорганизмнің ішінен 3 бактериялық изоллят құрғақшылыққа төзімділігін көрсетті. Бұл дақылдарды анықтау дереккөздерге сәйкес жүзеге асырылды (Lafitte et al., 2007). Зерттелетін 3 дақылдың макро-, микроморфологиясы мен физиологиялық-биохимиялық ерекшеліктерін зерттеу бұл изолляттарды *Pseudomonas flavescentis*, *Bacillus aerophilus*, *Stenotrophomonas maltophilia* туыстарының өкілдері ретінде анықтауға мүмкіндік берді.

Бактеризациялаудың өсімдіктердің морфометриялық көрсеткіштеріне әсері

Pseudomonas flavescentis D5 бактериясымен өсімдіктерді өңдеу олардың топырақ құрғақшылығына төзімділігін зерттеу мақсатында бактериялармен өңделген және өңделмеген арпа өсімдіктерінің топырақ құрғақшылығын имитациялау барысында морфометриялық көрсеткіштерін зерттеу жұмыстары жүзеге асырылды. Стресс топырақ ылғалдылығын төмендету арқылы жүзеге асырылды (далалық ылғалдылықтан 30%), онда жапырақтардың солу белгілері визуалды түрде байқала бастады. Өсімдіктер 30 күн бойы өсірілді, содан кейін морфометриялық және биохимиялық көрсеткіштер анықталды.

Құрғақшылық стресі бақылау нұсқасымен салыстырғанда тамырдың, сабақтың ұзындықтарын, жапырақ аймағын едәуір қысқартты және

тамырдың, сабақтың және жапырақтың құрғақ массасын азайтты. Өсімдікті эндифитті бактериялармен инокуляциялау оның өсуі мен биомасса жинау көрсеткіштеріне, өңделмеген өсімдіктермен салыстырғанда едәуір әсер етті.

Топырақ бактерияларымен егу егілмеген өсімдіктермен салыстырғанда арпа өсімдіктерінің өсуі мен биомассасын айтарлықтай өзгертті. Тамырдың ұзындығы, сабағының ұзындығы және құрғақ биомассаның салмағы бақылаумен салыстырғанда 20,3%, 20,9%, 60%-ға айтарлықтай өсті (1-кесте).

Арпаның өсу параметрлерінің жақсаруы бірнеше себептерге байланысты болуы мүмкін. Өсімдіктерге оң әсер ету механизмдерінің бірі – композицияны құрайтын штамдардың жасушалардың бөлінуі мен ұзаруын, олардың өсуі мен дифференциациясын, тамырлы тіндердің дамуын қамтамасыз ететін индолил сірке қышқылы фитогормонын синтездеу қабілеті болып табылады (Fathi & Tari, 2016).

1-кестеде келтірілген мәліметтерден эндифитті бактериялардың штамдары арпа өсімдігінің өнгіштігін едәуір арттыратыны белгілі болды. Өңделген тұқымдардың өнгіштігі 20,5%-ға дейін өсті. Тұқымдарды бактериялармен өңдеу арпа өсімдіктерінің дамуын белсенді түрде ынталандырғаны анықталды. Сонымен қатар арпа сабағының ұзындығы бақылаумен салыстырғанда 1,2 есе, тамырдың ұзындығы 1,3 есе артты.

1-кесте

Егу алдындағы өңдеудің тұқым мен арпаның өсуіне және дамуына әсері

Тәжірибе нұсқалары		Өңгіштігі, %	Жапырақ саны, дана.	Құрғақ биомасса, г.	Сабақ ұзындығы, см	Тамыр ұзындығы, см
Өңдеусіз бақылау	Суару +	67,3	2,0±0,1	0,7±0,03	22,6±0,0 2	12,8±0,0 3
	Суару -	45,8	1,0±0,1	0,5±0,05	15,3±0,1 0	6,4±0,10
<i>Pseudomonas flavescens</i> D5	Суару +	97,1	3,0±0,1	1,0±0,04	27,2±0,0 2	12,0±0,0 2
	Суару -	55,2	2,0±0,1	0,8±0,08	18,5±0,1 0	7,7±0,10

Фотосинтетикалық пигменттердің мөлшерін анықтау

Фотосинтез-жоғары сатыдағы өсімдіктерде болатын және өсімдік биомассасының өндірісімен тікелей байланысты маңызды физика-химиялық процесс; ол құрғақшылық стрессіне өте сезімтал (Bogeat-Triboulot et al., 2021; Poorter et al., 2012).

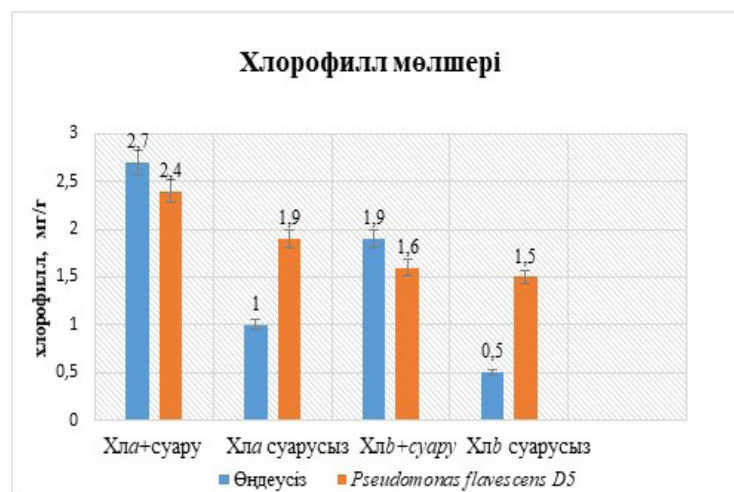
Зерттеудің келесі кезеңінде топырақ құрғақшылығы кезінде арпа тұқымдарын *Pseudomonas*

flavescens D5 эндофитті бактерияларымен өңдеу өңделмеген нұсқалармен салыстырғанда хлорофилл *a* және хлорофилл *b* құрамындағы айтарлықтай айырмашылықтың байқалғанын көрсетті (2-сурет).

Бактериялармен өңделген нұсқалар бақылаумен салыстырғанда хлорофилл *a* және хлорофилл *b* құрамының жоғарылағанын көрсетті (2-сурет).

2-сурет

Құрғақшылық жағдайында арпа өсімдіктеріндегі хлорофилл мөлшері



Алынған мәліметтерден арпа тұқымын егу алдындағы өңдеуді қолдану кезінде бактериялар мен олардың метаболиттерінің өсімдік жапырақтарында *a* және *b* хлорофиллдерінің жиналуына оңтайлы әсері байқалғанын көруге болады. Сонымен, құрғақшылықты имитациялау жағдайында өңделген өсімдіктердегі хлорофилл

a және *b* құрамы, өңделмеген өсімдіктерге қарағанда тиісінше 1,54 және 2 есе жоғары болды.

Бос пролин мөлшерін анықтау

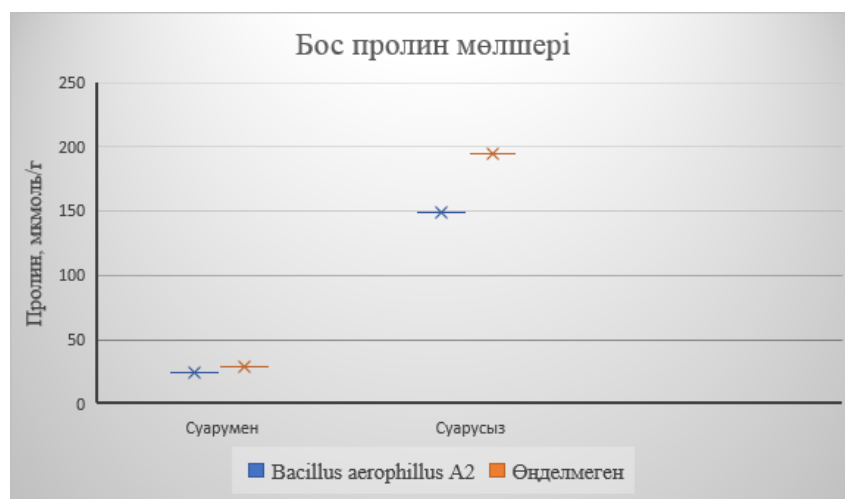
Пролин – өсімдіктер үшін стресс кезінде жиналатын және оларды қорғап, тіршілігін сақтауға көмектесетін аминқышқыл. Пролин

концентрациясының жоғарылауы стресстік жағдайларда өсімдіктердің бейімделуінің бірінші кезеңін қамтамасыз ететін реакциялардың бірі болып табылады. Топырақтың тұздануы кезінде өсімдіктер су тапшылығына ұшырайды; пролин-

жасушаның осмостық потенциалын реттейтін ең кең таралған осмолиттердің бірі (Jaleel et al., 2009). Сонымен қатар, J. H. Venekamp (Smith & De Smet, 2012) стресс жағдайында пролиннің түзілуі цитозолдың рН реттелу тәсілі деп санайды.

3-сурет

Құрғақшылық жағдайында арпа өсімдіктеріндегі пролин мөлшері



Суреттен көріп отырғанымыздай, құрғақшылық кезінде жапырақтардағы пролин мөлшері жоғарылаған. Проллин – өсімдіктегі негізгі осмопротектор, төмен молекулалы антиоксидант ретінде өсімдіктердің қоршаған орта факторларының әсерінің төзімділігіне қатысады және мембраналарды, ақуыз кешендерін және ДНҚ-ны тұрақтандыру қабілетіне ие (Hasibeder et al., 2015; Henry et al., 2015). Өсімдіктерде пролиннің жиналуы құрғақшылық, жоғары және төмен температура, NaCl және ауыр металдардың жоғары концентрациясы, тотығу стрессі және ультракүлгін сәулелену әсерінен пайда болады (Song et al., 2012). Стресстік жағдайда пролиннің жинақталу деңгейі әртүрлі өсімдікте әр түрлі болады және бастапқы деңгейден 100 есе мөлшерде асуы мүмкін (Selvakumar et al., n.d.).

Арпа өсімдіктерінің биохимиялық көрсеткіштері *Bacillus aerophilus* A2 эндифитті бактериясымен өңдеудің арқасында өсімдіктерде анықталған стресстің төмендеуі жүзеге асырылды. Сонымен, өңделген арпа тұқымдарындағы пролин мөлшері өңделмеген нұсқалармен салыстырғанда 33,3% – ға төмен екендігі анықталды (Abid et al., 2022).

Көптеген зерттеу жұмыстарында пролиннің түзілуі мен өсімдіктердің стресстік жағдайларға төзімділігі арасындағы байланыс дәлелденген.

Алайда, қарама-қарсы әсерлер де тіркелген. Мұндай байланыстың түрі әдістемелік себептерге (әртүрлі эксперименттердегі стресстік әсерлердің күші) және пролиннің басқа да стресстік жүйелермен, атап айтқанда ферментативті жүйемен күрделі өзара әрекеттесуіне байланысты болуы мүмкін (Сулейменова & Ахметова, 2015; Marulanda et al., 2007).

Көшеттердегі хлорофилл мен пролин деңгейі бактериялармен өңделген кезде өсімдіктердің стресс дәрежесін сипаттай алады (Marulanda et al., 2008) және өсімдік-микробтық ассоциациялардың үйлесімділігінің болжамды белгісі ретінде қызмет етеді деген гипотеза расталды (Marulanda et al., 2022). Хлорофиллдің мөлшері бақылау нұсқасымен салыстырғанда инокуляцияланған өсімдіктерде төмен болды, дегенмен өңделмеген өсімдіктермен салыстырғанда жоғары болды (2-сурет). Стресс индуцирленген инокуляцияланған өсімдіктердегі пролин мөлшері жоғарылады, бірақ өңделмеген өсімдіктермен салыстырғанда төмен екендігі анықталды (3-сурет).

Қорытынды

Нәтижелер зерттелген тиімді микромицеттердің өсімдіктердің физиологиялық процестеріне (морфометриялық көрсеткіштер мен фо-

тосинтез) оң әсер ететінін көрсетеді. Оларды биопрепарат құрамында одан әрі пайдалану өсуді жеделдетуді, өсірілетін агроөнеркәсіптік дақылдардың өнімділігі мен сапасын арттыруды қамтамасыз етеді. Сонымен қатар олардың маңызды артықшылығы адамдарға, жануарларға, топырақ организмдеріне және қоршаған ортаға зиянсыздық болады.

Қаржыландыру

Жұмыс Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі қаржыландыратын «Ауыл шаруашылығы өсімдіктерінің өсуін ынталандыру және бейімделу әлеуетін арттыру үшін микробтық композиция құру биотехнологиясы» АР09261262 жобасы шеңберінде орындалды.

Мүдделер қақтығысы

Мақала авторлары зерттеуді немесе мүдделер қақтығысын қаржылық немесе басқа қолдаудың жоқтығын растайды.

Авторлардың үлесі

Концептуализация, Л.И. және А.У.; Әдістеме, А.Б. және С.Н.; Бағдарламалық қамтамасыз ету, А.К.; Валидация, Л.И. және А.У.; Ресми талдау, С.Н. және А.К.; Тергеу, А.У., А.К. және А.Б.; Ресурстар, Л.И. және А.У.; Деректерді Өңдеу, Л.И., С.Н.; Жазу–Түпнұсқа жобаны дайындау, А.У.; Жазу–шолу және редакциялау, Л.И., С.Н.; Визуализация, А.К., А.Б.; Қадағалау, Л.И. және А.У.; Жобаларды басқару, А.У.; Қаржыландыруды, А.К. Барлық авторлар қолжазбаның жарияланған нұсқасымен танысып келіскен.

Әдебиеттер

- Сулейменова, Г. Т., & Ахметова, С. Т. (2015). Засухи на территории Северного и Западного Казахстана. *Гидрометеорология и экология*, 2(77), 7–15.
- Abid, U., Mohammad, N., Hazrat, A., Ali, H., Kashif, H., & Ayaz, A. K. (2022). Drought tolerance improvement in plants: An endophytic bacterial approach. *Applied Microbiology and Biotechnology*. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10045-4>
- Abuqamar, S., Luo, H. L., Laluk, K., Mickelbart, M. V., & Mengiste, T. (2009). Crosstalk between biotic and abiotic stress responses in tomato is mediated by the AIM1 transcription factor. *The Plant Journal*, 52, 347–360. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113X.2008.03783.x>
- Bogeat-Triboulot, M. B., Brosché, M., Renaut, J., Jouve, L., Le Thiec, D., & Fayyaz, P. (2021). Gradual soil water depletion results in reversible changes of gene expression, protein profiles, ecophysiology, and growth performance in *Populus euphratica*, a poplar growing in arid regions. *Plant Physiology*, 143, 876–892. <https://doi.org/10.1104/pp.106.088708>
- Fathi, A., & Tari, D. B. (2016). Effect of drought stress and its mechanism in plants. *International Journal of Life Sciences*, 10, 1–6.
- Hasibeder, R., Fuchslueger, L., Richter, A., & Bahn, M. (2015). Summer drought alters carbon allocation to roots and root respiration in mountain grassland. *New Phytologist*, 205, 1117–1127. <https://doi.org/10.1111/nph.13146>
- Henry, A., Doucette, W., Norton, J., & Bugbee, B. (2015). Changes in crested wheatgrass root exudation caused by flood, drought, and nutrient stress. *Journal of Environmental Quality*, 36, 904–912. <https://doi.org/10.2134/jeq2006.0425sc>
- Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H. J., & Somasundaram, R. (2009). Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11, 100–105.
- Kaushal, M., & Wani, S. P. (2016). Rhizobacterial-plant interactions: Strategies ensuring plant growth promotion under drought and salinity stress. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 231, 68–78. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.031>
- Kaushal, M., & Wani, S. P. (2024). Rhizobacterial-plant interactions: Strategies ensuring plant growth promotion under drought and salinity stress. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 231, 68–78. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.031>
- Lafitte, H. R., Yongsheng, G., Yan, S., & Li, Z. K. (2007). Whole plant responses, key processes, and adaptation to drought stress: The case of rice. *Journal of Experimental Botany*, 58, 169–175. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl101>
- Marulanda, A., Azcón, R., Ruiz-Lozano, J. M., & Aroca, R. (2008). Differential effects of a *Bacillus megaterium* strain on *Lactuca sativa* plant growth depending on the origin of the arbuscular mycorrhizal fungus coinoculated: Physiologic and biochemical traits. *Journal of Plant Growth Regulation*, 27, 10–18. <http://hdl.handle.net/10261/278334>
- Marulanda, A., Barea, J. M., & Azcón, R. (2022). Stimulation of plant growth and drought tolerance by native microorganisms (AM fungi and bacteria) from dry environments: Mechanisms related to bacterial effectiveness. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28, 115–122. <https://doi.org/10.1007/s00344-009-9079-9>
- Marulanda, A., Porcel, R., Barea, J. M., & Azcón, R. (2007). Drought tolerance and antioxidant activities in lavender plants colonized by native drought-tolerant or drought-sensitive *Glomus* species. *Microbial Ecology*, 54, 543–552. <https://doi.org/10.1007/s00248-007-9237-y>
- Pandey, P., Ramegowda, V., & Senthil-Kumar, M. (2015). Shared and unique responses of plants to multiple individual stresses and stress combinations: Physiological and molecular mechanisms. *Frontiers in Plant Science*, 6, 723. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00723>

- Poorter, H., Niklas, K. J., Reich, P. B., Oleksyn, J., Poot, P., & Mommer, L. (2012). Biomass allocation to leaves, stems and roots: Meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist*, 193, 30–50. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x>
- Rahdari, P., & Hoseini, S. M. (2012). Drought stress: A review. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 3, 443–446.
- Rampino, P., Pataleo, S., Gerardi, C., & Perotta, C. (2006). Drought stress responses in wheat: Physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes. *Plant, Cell & Environment*, 29, 2143–2152. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2006.01588.x>
- Samarah, N. H. (2005). Effects of drought stress on growth and yield of barley. *Agronomy for Sustainable Development*, 5, 145–149.
- Selvakumar, G., Panneerselvam, P., & Ganeshamurthy, A. N. (2012). Bacterial mediated alleviation of abiotic stress in crops. In D. K. Maheshwari (Ed.), *Bacteria in agrobiolgy: Stress management* (pp. 205–224). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-23465-1_11
- Singh, V. K., Singh, A. K., Singh, P. P., & Kumar, A. (2018). Interaction of plant growth promoting bacteria with tomato under abiotic stress: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 267, 129–140. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.08.020>
- Smith, S., & De Smet, I. (2012). Root system architecture: Insights from *Arabidopsis* and cereal crops. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367, 1441–1452. <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0234>
- Song, F., Han, X., Zhu, X., & Herbert, S. J. (2012). Response to water stress of soil enzymes and root exudates from drought and non-drought tolerant corn hybrids at different growth stages. *Canadian Journal of Soil Science*, 92, 501–507.
- Suwa, R., Nguyen, N. T., Saneoka, H., Moghaieb, R., & Fujita, K. (2006). Effect of salinity stress on photosynthesis and vegetative sink in tobacco plants. *Soil Science and Plant Nutrition*, 52, 243–250. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2006.00024.x>
- Ying, M. (2020). Drought and salinity stress responses and microbe-induced tolerance in plants. *Frontiers in Plant Science*, 7, 2021. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.591911>

Авторлар туралы мәлімет:

Усманова Айжамал Дусжанқызы – PhD, Алматы технологиялық университетінің қолданбалы биотехнология кафедрасының ассистент-профессоры, (Алматы, Қазақстан, e-mail: aizhamalduszhonovna@mail.ru).

Нукенова Сауле Ануарханқызы – техника ғылымдарының магистрі, Алматы технологиялық университетінің қолданбалы биотехнология кафедрасының сеньор-лекторы (Алматы, Қазақстан, e-mail: sunny.2525@internet.ru).

Каташева Алма Чамаевна – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, Алматы технологиялық университетінің қолданбалы биотехнология кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Алматы, Қазақстан, e-mail: alma_81.kz81@mail.ru).

Батырбаева Айжан Маликқызы – Алматы технологиялық университетінің қолданбалы биотехнология кафедрасының ассистенті «АҚ (Алматы, Қазақстан, e-mail: aizhan_batyrbaevaa@mail.ru).

Information about the authors:

Usmanova Aizhamal Duszhanovna – PhD, assistant professor of the Department of applied biotechnology, Almaty Technological University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: aizhamalduszhonovna@mail.ru).

Nukenova Saule Anuarhanovna – senior lecturer of the Department of applied biotechnology, master of technical sciences, Almaty Technological University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: sunny.2525@internet.ru).

Katasheva Alma Chamaevna – associate professor of the Department of applied biotechnology, candidate of agricultural sciences, Almaty Technological University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: alma_81.kz81@mail.ru).

Batyrbaeva Aizhan Malikovna – Assistant of the Department of applied biotechnology, Almaty Technological University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: aizhan_batyrbaevaa@mail.ru).

Сведения об авторах:

Усманова Айжамал Дусжановна – PhD, ассистент-профессор кафедры прикладной биотехнологии, Алматинский технологический университет (Алматы, Казахстан, e-mail: aizhamalduszhonovna@mail.ru).

Нукенова Сауле Ануархановна – магистр технических наук, сеньор-лектор кафедры прикладной биотехнологии, Алматинский технологический университет (Алматы, Казахстан, e-mail: sunny.2525@internet.ru).

Каташева Алма Чамаевна – кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор кафедры прикладной биотехнологии, Алматинский технологический университет (Алматы, Казахстан, e-mail: alma_81.kz81@mail.ru).

Батырбаева Айжан Маликовна – ассистент кафедры прикладной биотехнологии, Алматинский технологический университет (Алматы, Казахстан, e-mail: aizhan_batyrbaevaa@mail.ru).

Келін түсті: 08 наурыз 2026 жыл
Қабылданды: 28 маусым 2026 жыл