

Байдалин Марден Ерсаинович – PhD, профессор, НАО «Кокшетауский государственный университет имени Ш. Уалиханова», Республика Казахстан, 020000, г. Кокшетау, ул. Абая, 76, тел.: 87475546495, e-mail: marden\_0887@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6403-4662>.

Москвичева Елена Николаевна – докторант 2 курса, образовательная программа «Растениеводство», НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Байтұрсынова 47, тел.: 87776367040, e-mail: moskvam@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4182-3041>.

XFTAP 68.35.29

ӨОЖ 631.46:633.16(045)

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621098>

### БИОГИДРОГЕЛЬДІҢ ЖАЗДЫҚ АРПА (*HORDEUM VULGARE L.*) ТҰҚЫМДАРЫНЫҢ ӨНГІШТІГІНЕ ӘСЕРІН БАҒАЛАУ

Бостубаева М.Б.\* – PhD, аға оқытушы, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Жанабергенов А.О. – аға оқытушы, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Макенова М.М. – PhD, аға оқытушы, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Жұмыста  $\text{CaCl}_2$  және лимон қышқылы арқылы торланған КМЦ, альгинат және ПВС негізіндегі биогидрогельдің арпа (*Hordeum vulgare L.*) тұқымдарының өнуіне және өскіндердің ерте өсуіне әсері зерттелді. Тұқымдар құрамында гидрогельдің әртүрлі концентрациялары бар құм толтырылған контейнерлерде өнді: 0, 0,1, 0,25, 0,5 және 0,7 %. Өну энергиясы мен толық өну көрсеткіштері ( $GP_3$ ,  $GP_7$ ), өнуінің интегралдық индексі (GI), орташа өну уақыты (AGT), өскіндердің өміршеңдік индекстері (SVI I, SVI II), сондай-ақ сабақтар мен тамырлардың ұзындығы бағаланды. Төмен және орташа концентрациядағы гидрогельдер (0,1–0,5 %) тұқымдардың өнуін және өскіндердің өсуін ынталандырып, GI және SVI интегралдық көрсеткіштерінің жоғарылауына ықпал ететіні анықталды. 0,25 % концентрациясы ең жоғары өну пайызын және GI мәндерін қамтамасыз етіп, бұл ретте тамыр жүйесі мен жерүсті бөлігінің дамуы біркелкі және тежелу белгілерінсіз жүрді. Гидрогельдің ең жоғары концентрациясы (0,7 %) барлық өміршеңдік көрсеткіштерінің төмендеуіне, орташа өну уақытының ұзаруына, тамырлар мен сабақтардың ұзындығының қысқаруына әкелді, бұл субстратта полимерлік матрицаның артық мөлшері кезінде ауа мен ылғалдың қолжетімділігінің шектелетінін көрсетеді. Жалпы алғанда, алынған нәтижелер КМЦ, альгинат және ПВС негізіндегі гидрогельдің 0,1–0,5 % оңтайлы концентрациялар диапазонында арпаның ерте өсуін тиімді ынталандыратынын, ал бұл шектен асып кетуі тұқымдардың өнуі мен өсімдіктердің бастапқы дамуына тежеуші әсер етуі мүмкін екенін дәлелдейді.

**Түйінді сөздер:** жаздық арпа, биогидрогель, карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ), альгинат, поливинил спирті (ПВС), өнгіштік индексі (GI), өскіндердің тіршілікке қабілеттілік индексі (SVI).

### ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ БИОГИДРОГЕЛЯ НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ (*HORDEUM VULGARE L.*)

Бостубаева М.Б.\* – PhD, старший преподаватель, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

Жанабергенов А.О. – старший преподаватель, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

Макенова М.М. – PhD, старший преподаватель, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

В работе изучено влияние биогидрогеля на основе КМЦ, альгината и ПВС с шивкой  $\text{CaCl}_2$  и лимонной кислоты на прорастание и ранний рост проростков ячменя (*Hordeum vulgare L.*). Семена проращивались в контейнерах с песком с содержанием различных концентраций гидрогеля: 0, 0,1, 0,25, 0,5 и 0,7 %. Оценивались энергия и полнота прорастания ( $GP_3$ ,  $GP_7$ ), интегральный индекс прорастания (GI), среднее время прорастания (AGT), индексы жизнеспособности проростков (SVI I, SVI II), а также длина побегов и корней. Установлено, что низкие и средние концентрации гидрогеля (0,1–0,5 %) стимулируют прорастание и рост проростков, повышая интегральные показатели GI и SVI. Концентрация 0,25 % обеспечивала максимальный процент прорастания и наиболее высокие значения GI, при этом развитие корневой системы и надземной части происходило равномерно и без признаков угнетения. Наибольшая концентрация гидрогеля (0,7 %) приводила к снижению всех

показателей жизнеспособности, удлинению среднего времени прорастания и уменьшению длины корней и побегов, что указывает на ограничение доступности воздуха и влаги в субстрате при избыточном содержании полимерной матрицы. В целом результаты свидетельствуют, что гидрогель на основе КМЦ, альгината и ПВС является эффективным средством для стимулирования раннего роста ячменя при оптимальном диапазоне концентраций 0,1–0,5 %, тогда как превышение данного диапазона может оказывать ингибирующее воздействие на прорастание и начальное развитие растений.

**Ключевые слова:** яровой ячмень, биоогидрогель, карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ), альгинат, поливиниловый спирт (ПВС), индекс прорастания (GI), индекс жизнеспособности проростков (SVI).

#### ASSESSMENT OF THE EFFECT OF BIOPOLYMER-BASED HYDROGEL ON SEED GERMINATION OF SPRING BARLEY (*HORDEUM VULGARE L.*)

*Bostubayeva M.B.\* – PhD, Senior Lecturer, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.*

*Zhanabergenov A.O. – Senior Lecturer, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.*

*Makenova M.M. – PhD, Senior Lecturer, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.*

*The study investigated the effect of a biohydrogel based on CMC, alginate, and PVA crosslinked with CaCl<sub>2</sub> and citric acid on seed germination and early growth of barley (*Hordeum vulgare L.*). Seeds were germinated in sand-filled containers containing different hydrogel concentrations: 0, 0.1, 0.25, 0.5, and 0.7%. Germination energy and final germination percentage (GP<sub>3</sub>, GP<sub>7</sub>), germination index (GI), average germination time (AGT), seedling vigor indices (SVI I, SVI II), as well as shoot and root length were evaluated. It was found that low and medium hydrogel concentrations (0.1–0.5%) stimulated germination and early seedling growth, leading to increased integral indices GI and SVI. The 0.25% concentration provided the highest germination percentage and GI values, while root and shoot development remained balanced and showed no signs of inhibition. The highest hydrogel concentration (0.7%) resulted in a decrease in all vigor parameters, prolonged average germination time, and reduced root and shoot length, indicating limited air and water availability in the substrate at excessive polymer content. The results demonstrate that the CMC/alginate/PVA-based hydrogel is effective in stimulating early barley growth within the optimal concentration range of 0.1–0.5%, whereas exceeding this range may exert inhibitory effects on germination and initial plant development.*

**Keywords:** *spring barley, biohydrogel, carboxymethyl cellulose (CMC), alginate, polyvinyl alcohol (PVA), germination index (GI), seedling vigor index (SVI).*

**Кіріспе.** Тұқымдардың өнуі және тамыр мен өскіннің бастапқы жүйесінің қалыптасуы егістіктің өнімді орнығуы мен өсімдіктердің қолайсыз жағдайларға төзімділігін қамтамасыз ететін шешуші кезеңдер болып табылады. Біркелкі және жылдам өнгіштік өсудің жоғары әлеуетін қалыптастырып, өсімдіктердің құрғақшылық, қоректік заттардың жетіспеушілігі және температуралық ауытқулар сияқты стресс факторларына бейімделуін жақсартады [1, 453 б.]. Ең осал кезең – өнудің бастапқы сатысы, бұл кезде тұқымдар су және осмостық стресс әсеріне ұшырайды, ал тұқымдардың өнгіштігі біркелкі болмаса, егістің өнімділігі мен сапасының төмендеуі мүмкін.

Соңғы жылдары ылғалды сақтауды, оны біртіндеп босатуды және макро- мен микроэлементтердің қолжетімділігін арттыруды қамтамасыз ететін гидрогельдер мен тұқымдардың биополимерлі қаптамаларын қолдануға ерекше назар аударылуда. Мұндай технологиялар абиотикалық күйзеліс әсерін жұмсартып, өскіндердің қалыптасуын жеделдетуге мүмкіндік береді, соның нәтижесінде өскіндердің тіршілікке қабілеттілігі мен өнуінің біркелкілігі артады [2, 276 б.]. Карбоксиметилцеллюлоза, натрий альгинаты, каррагинан, хитозан сияқты полимерлердің комбинациялары ылғал ұстау және биосәйкестік қасиеттері бақыланатын құрылымданған гидрогельдерді қалыптастыру үшін жоғары әлеует көрсетеді [3, 62 б., 4, 795 б.].

Гидрогельдерді қолдануға қызығушылықтың артуына қарамастан, гидрогельдің жаздық арпа тұқымдарының өнгіштігі мен бастапқы өсуіне дозалық тәуелді әсері туралы ақпарат аз. Әсіресе өну индексі (GI) және өміршеңдік индекстері (SVI) сияқты интегралды көрсеткіштерді пайдалану тұрғысынан деректер саны шектеулі. Бұл көрсеткіштер өну жылдамдығын, өскіндердің морфологиялық сипаттамаларын және олардың жалпы даму әлеуетін кешенді түрде бағалауға мүмкіндік береді. Себебі тек өну пайызын (GP) бағалау өскіндердің өміршеңдігі мен морфологиясына гидрогельдің кешенді әсерін толық көрсетпейді.

Осы тұрғыда өну индексі (Germination Index, GI), өну жылдамдығының индексі (Germination Rate Index, GRI) және өскіндердің өміршеңдік индекстері (Seedling Vigor Index, SVI) сияқты интегралды көрсеткіштерді қолдану ерекше маңызға ие болады. Бұл көрсеткіштер өсімдіктер онтогенезінің бастапқы кезеңдерінде агротехникалық тәсілдер мен материалдардың әсерін неғұрлым объективті бағалауға мүмкіндік береді, өйткені олар тек тұқым өнгіштігін ғана емес, оның динамикасын, сондай-ақ тамыр және өркен

жүйелерінің даму көрсеткіштерін де ескереді. Осыған дейін жүргізілген зерттеулерде GI және SVI көрсеткіштерінің жоғары мәндері танаптық өнгіштіктің жақсы болуымен және көктеу кезеңінде биотикалық стресс факторларына төзімділігінің артуымен өзара байланыста екені көрсетілген [5, 117393 б., 6, 1833 б.].

Дәнді дақылдар үшін, соның ішінде жаздық арпа (*Hordeum vulgare* L.) үшін, тамыр жүйесінің дамуындағы бастапқы кезең шешуші маңызға ие, өйткені дәл осы кезеңде өскіннің су сіңіру мен минералдық қоректену әлеуеті қалыптасады. Тамыршалардың ұзындығы мен олардың биомассасы күйзеліс әсерін және қолданылатын өсу стимуляторларының тиімділігін сезімтал индикаторлар ретінде қарастырылады [7, 46 б.]. Зерттеулер көрсеткендей, гидрогельдердің оңтайлы концентрациялары тамырлардың ұзаруын ынталандыра алады, бұл ылғалмен қамтамасыз етуі шектеулі жағдайларда өсімдіктердің бейімделу әлеуетін арттырады [8, 735 б.]. Сонымен қатар, гидрогелдің шамадан тыс мөлшері субстраттың аэрациясының төмендеуіне және өскіндердің өсуінің баяулауына әкелуі мүмкін, бұл өнгізудің оңтайлы дозаларын таңдаудың қажеттілігін көрсетеді [9, 4725 б.].

Әдебиеттерде гидрогельдердің құрамы мен құрылымына ерекше көңіл бөлінеді. Карбоксиметилцеллюлоза, натрий альгинаты және каррагинан сияқты полисахаридтер негізіндегі биополимерлі гидрогельдер жоғары гидрофильдігімен, биодеградациялану қабілетімен және фитоуыттылығының төмендігімен ерекшеленеді [10, 34 б., 11, 24747 б.]. Бұл құрамдарды кальций иондарымен немесе органикалық қышқылдармен тігу олардың ісіну дәрежесін, механикалық беріктігін және судың босап шығу жылдамдығын реттеуге мүмкіндік береді. Бірқатар авторлар бірнеше биополимерді біріктіру монокомпонентті жүйелермен салыстырғанда гел құрылымының тұрақтылығын және әсер ету уақытын ұзартуды қамтамасыз ететінін атап көрсетеді [12, 11468 б., 13, 24736 б.].

Жаздық арпа және қоңыржай климат аймағына тән басқа дақылдар үшін гидрогельдерді қолдану ылғалды ұстап тұру қабілеті төмен, құмды және қарашірігі аз топырақ жағдайында тиімді екені аталған [14, 25 б.]. Бұл жағдайда гидрогель тұқымдар үшін судың қолжетімділігін арттырып қана қоймай, қоректік элементтер иондарын ұстап тұрып, оларды біртіндеп босататын матрица қызметін атқара алады. Нәтижесінде қоректік заттардың шайылуы азайып, тыңайтқыштарды пайдалану коэффициенті жоғарылайды [15, 2 б.]. Алайда жарияланған жұмыстардың басым бөлігі танаптық немесе вегетациялық тәжірибелерге бағытталған, ал тұқым өнгіштігі мен өркендердің бастапқы өсу қарқынын қарастыратын зертханалық жұмыстар көбіне өнгіштік пайызын бағалаумен ғана шектеледі.

**Зерттеудің мақсаты** – карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ), альгинат және поливинил спирті (ПВС) негізіндегі,  $Ca^{2+}$  иондарымен тігілген гидрогелдің жаздық арпа (*Hordeum vulgare* L.) тұқымдарының зертханалық жағдайдағы өнгіштігіне және өскіндердің бастапқы өсу көрсеткіштеріне әсерін бағалау.

#### **Зерттеу міндеттері**

1. Биогидрогелдің құмды субстраттағы 0–0,7 % концентрациясына байланысты арпа дәндерінің өнуіне әсерін бағалау.
2. Гидрогелдің әртүрлі концентрацияларының арпа көшеттерінің морфометриялық параметрлеріне және тіршілік қабілеттілігіне (SVI I, SVI II) әсерін анықтау.
3. Биогидрогелдің өсу мен өнудің максималды көрсеткіштерін қамтамасыз ететін оңтайлы концентрациялар ауқымын белгілеу және субстраттағы полимерлі матрицаның мөлшерінің асып кетуі көшеттердің тежелуіне, аэрация мен ылғалмен қамтамасыз етудің шектелуіне әкелетін шекті деңгейді анықтау.

**Зерттеу материалдары мен әдістері.** Зерттеу объекті ретінде жаздық арпаның (*Hordeum vulgare* L.) «Карабалықский» сортының тұқымдары пайдаланылды. Аталған сорт Қазақстанның солтүстік және орталық аймақтарында кеңінен аудандастырылған және құрғақшылыққа салыстырмалы төзімділігімен, тұрақты далалық және зертханалық өнгіштігімен сипатталады. Бұл ерекшеліктері оны күрт континенталды климат жағдайларында өсіруге бейім етеді. Сорттың морфогенезінің біркелкілігі мен өскіндердің бастапқы даму қарқынының тұрақтылығы гидрогельдердің өсімдік өсуіне әсерін модельдік жағдайда бағалау үшін ғылыми тұрғыдан негізделген таңдау болып табылады. Тәжірибеге дейін тұқымдар +4 – +6 °C температурада, ылғалдылығы 12–14% деңгейінде, қараңғы және құрғақ жағдайда сақталды. Тұқымдар өлшемі мен массасы бойынша біркелкі, көзге көрінетін зақымданулары жоқ болатындай таңдалды. Тұқымдар алдын ала калий перманганатының ерітіндісінде 5 минут бойы залалсыздандырылып, сумен жуылды.

Гидрогель дайындау әдісі. Биоыдырайтын гидрогель гранулаларын дайындау үшін 20–25 °C температуралы 60 мл дистилденген суға 0,7 г карбоксиметилцеллюлоза және 0,7 г натрий альгинаты қосылып, біртекті масса алынғанға дейін үзіліссіз араластырылды. 10 мл суда 0,5 г ПВС ерітіліп, негізгі қоспаға қосылды және 10 минут араластырылды. Қоспа су ваннасында 60 °C температурада 15–20 минут қыздырылды. Алдын ала торлануды бастау үшін 0,2 г лимон қышқылы енгізіліп, 5 минут араластырылды, содан кейін қоспа бөлме температурасында салқындатылды.

0,1 % кальций хлориді ерітіндісіне полимерлі масса 1–2 мм диаметрлі сопло арқылы экструзияланып, үздіксіз жіп түрінде өнгізілді. Жіптер 20–25 °C температурада 6 сағат ерітіндіде ұсталып, иондық тігілу процесі жүзеге асырылды. Жіпшелер дистилденген сумен жуылып, 3–5 мм ұзындықтағы цилиндрлік гранулаларға кесілді. Дайын гранулалар 50 °C температурада конвекциялық кептіргіште 12 сағат кептірілді.

Тұқымдарды өндіру барысы. Тұқымдар гидрогелдің әртүрлі концентрациялары алдын ала араластырылған 400 г електен өткізілген құммен толтырылған пластик контейнерлерде өндірілді. Гидрогелдің келесі концентрациялары қолданылды: 0,1%, 0,2%, 0,5% және 0,7%. Бақылау нұсқасындағы

контейнерлерге гидрогель салынбады. Гидрогель концентрациялары алдын ала жүргізілген полимерлік материалдардың су сіңіру және ісіну қасиеттері туралы әдеби деректерге [22-25] және агрономиялық тәжірибеде қолданылатын төмен–орта–жоғары дозалық диапазон принципіне сәйкес таңдалды. Гидрогельдің су ұстау және біртіндеп беру қасиеттері далалық жағдайда топырақ ылғалдылығын тұрақтандырудың механизмі ретінде қарастырылады. Осыған байланысты зертханалық нәтижелер гидрогельдердің нақты мөлшерін далалық жағдайда қолдану үшін бастапқы бағалау ретінде қарастырылады.

Әрбір концентрация үш қайталанымда сыналды, әр контейнерге 20 тұқым салынды. Барлық контейнерлерге бастапқыда 60 мл су құйылып, кейін құмның кеуіп кетуін болдырмау мақсатында тәулігіне 30 мл су қосу арқылы ылғалдылық тұрақтылығы сақталды.

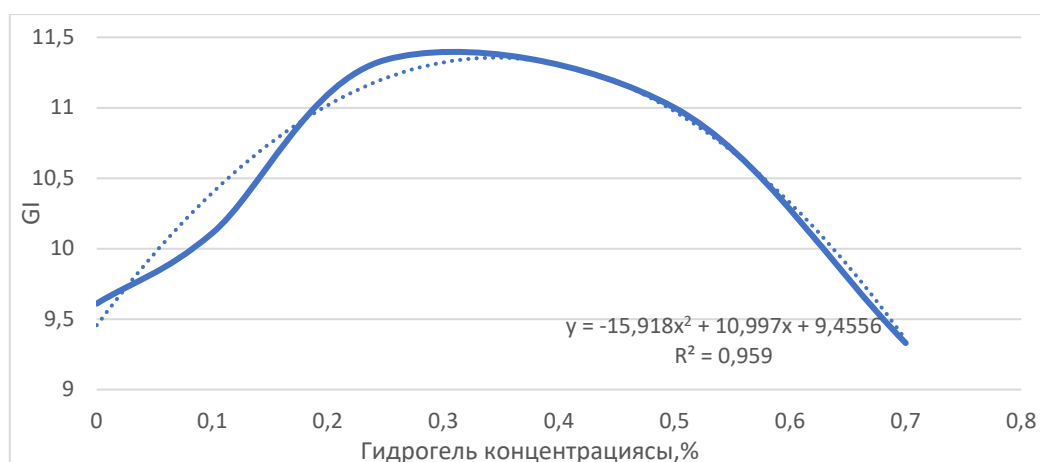
Тұқым өнгіштігін бағалау. Тұқымдардың өнгіштігі 7 күн бойы күнделікті есептелді. Тұқымның зертханалық өнуін анықтау MEMCT 12038-84 сәйкес жүргізілді. Есептелген көрсеткіштер: өнгіштік энергиясы ( $GP_3$ , %) – үшінші күнге дейін өнген тұқымдардың пайызы, толық өнгіштік ( $GP_7$ , %) – жетінші күнге дейін өнген тұқымдардың пайызы. Өнгіштік индексі (GI) – Maguire JD, 1962 [16, 176 б.] формуласымен есептелді. Орташа өну уақыты (AGT, күн) – әрбір тұқымның өну күндерін ескеріп алынған салмақты орташа мән ретінде есептелді.

Өскіндердің өміршеңдігін бағалау. Жетінші күні өркендер мен тамырлардың ұзындығын өлшеу MEMCT 12038-84 сәйкес жүргізілді. Осы деректер негізінде есептелген көрсеткіштер: өміршеңдік индексі SVI I –  $GP_7$  көрсеткіші мен өскіндердің орташа ұзындығының көбейтіндісі; өміршеңдік индексі SVI II –  $GP_7$  көрсеткіші мен өркендер мен тамырлардың жалпы ұзындығының көбейтіндісі [17, 631 б.]. Өміршеңдік индекстері Anderson J.D. (1973) [17, 631 б.] әдістемесіне сәйкес есептелді.

Статистикалық өңдеу. Барлық тәжірибелер үш қайталанымда жүргізілді, әр қайталанымда 20 тұқымнан пайдаланылды. Барлық өлшеулер бір тәжірибелік цикл шегінде, бірдей зертханалық жағдайларда, зертханалық жағдайлардағы ішкі тұрақтылық деңгейінде бағаланды. Деректер орташа мәндер  $\pm$  стандартты ауытқу (SD) түрінде көрсетілді. Статистикалық талдау бір факторлы дисперсиялық талдауды (ANOVA) қамтып, әр концентрациялар арасындағы маңызды айырмашылықтарды анықтау үшін Тьюки тесті қолданылды ( $p < 0,05$ ).

**Нәтижелер.** Биогидрогельді енгізу тұқымдардың өнгіштігіне айқын дозалық тәуелді әсер көрсетті. Бақылау тобында  $GP_3$  және  $GP_7$  көрсеткіштері 86,1 % болды, бұл тұқымдардың бастапқы өнгіштігі жоғары екенін көрсетеді. Ең жоғары өнгіштік көрсеткіші гидрогель концентрациясы 0,25 % болған кезде байқалды, бұл нұсқада  $GP_3$  және  $GP_7$  97,2 %-ға жетті (Кесте 1). Гидрогельдің 0,1 % концентрациясында  $GP$  көрсеткіштері бақылаудан сәл жоғары болып, 0,5 % концентрациясында орташа өсім байқалды. Ал ең жоғары 0,7 % концентрациясы  $GP_3$  және  $GP_7$  көрсеткіштерін 77,8 %-ға дейін төмендетіп, өнгіштіктің тежелуін тудырды.

GI нәтижелері гидрогель концентрациясының өнгіштік индексіне айқын дозалық тәуелді әсерін көрсетеді (Сурет 1). Бақылау тобында GI мәні 9,61 тең болды. Ең төмен 0,1 % концентрацияда GI 10,11-ге жетіп, бақылауға қарағанда 5,2 % артты. 0,25 %, 0,5% концентрациялы нұсқаларда GI ең жоғары мәнге жетіп, бақылаудан 18,1 % дейін артты. Бұл гидрогельдің тұқымдардың өнуін оңтайлы ынталандыратын концентрациялар екенін көрсетеді. 0,7% жоғары концентрацияда GI сәл төмендеп, бақылаудан сәйкесінше 2,9 % төмен болды. Бұл гидрогельдің жоғары мөлшері өнгіштік процесін тежейтінін дәлелдейді.



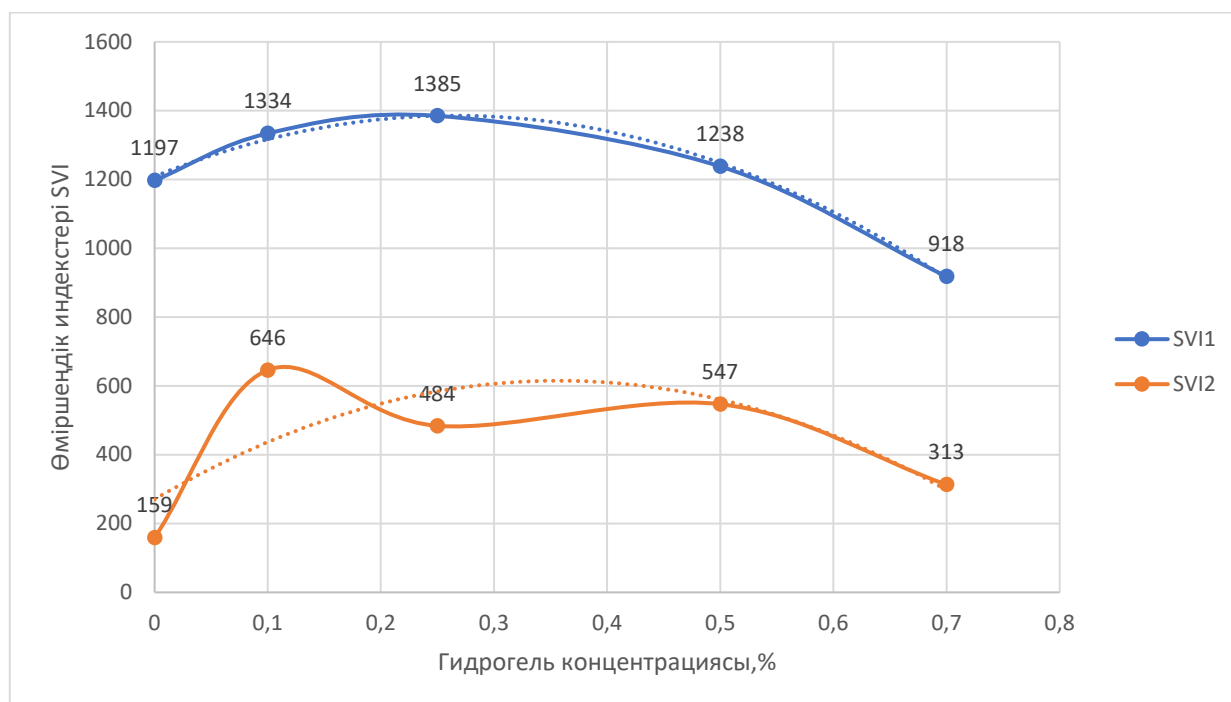
1 сурет – GI индексінің гидрогель концентрациясына тәуелділігінің графигі

Өскіндердің өміршеңдік индекстері (SVI) – өнгіштік жылдамдығы, өнген тұқым пайызы және өскіндердің морфометриялық сипаттамаларын біріктіретін интегралды көрсеткіш, ол тұқымның жалпы даму әлеуетін бағалауға мүмкіндік береді. Осы зерттеуде SVI екі түрі қолданылды: SVI I,  $GP_7$  көрсеткішін өскіндердің орташа ұзындығына көбейту арқылы есептеледі, және SVI II, өркендер мен тамырлардың жалпы ұзындығын ескеретін көрсеткіш.

Гидрогельдің әртүрлі концентрациялары арпа өскіндерінің өміршеңдігіне айтарлықтай әсер етеді (Сурет 2). SVI I ең жоғары мәнге гидрогельдің 0,25 % концентрациясында жетті, бұл нұсқа өнгіштіктің жоғары пайызымен ( $GP_7 = 97,2\%$ ) және өркендердің айтарлықтай ұзындығына (14,3 см) байланысты. Бұл гидрогельдің аталған концентрациясында Ылғалдылық режимі мен қоректік заттардың қолжетімділігі оңтайлы түрде қамтамасыз етілгенін көрсетеді.

SVI II өркендер мен тамырлардың жалпы өсуін көрсететін индикатор, ең жоғары мәнге 0,1 % концентрациясында жетті, бұл өскіндердің морфологиялық дамуы, әсіресе тамыр жүйесінің (тамыр ұзындығы 15,25 см) ынталандырылғанын білдіреді. 0,25 % концентрациясында да SVI II көрсеткіші жоғары болып, өркендер мен тамыршалардың теңдестірілген дамуын қамтамасыз етті. Яғни орташа концентрациядағы гидрогель тұқымдардың толыққанды тамыр және өркен жүйесін қалыптастыруға қолайлы жағдай туғызатынын көрсетеді, бұл өсімдіктердің даму кезеңінің ерте сатыларында маңызды болып табылады.

Гидрогельдің жоғары концентрациясында (0,7 %) екі индекстің де төмендеуі бақыланды. Оның себебі гидрогельдің үлкен концентрациясы жоғары тұтқырлықтың қалыптастыруы, оттегінің қолжетімділігінің төмендеуі немесе осмотикалық стресс болуы мүмкін. Берілген әсер тамырлар мен өркендердің өсуін шектеп, өскіндердің жалпы өміршеңдігін баяулатуы мүмкін.



2 сурет – Жаздық арпа өскіндерінің SVI I және SVI II көрсеткіштерін салыстыру

Өскіндердің өркендері мен тамырларының ұзындығы гидрогель концентрациясына тәуелді болды. Ең ұзын өркендер (15,0 см) және тамырлар (15,25 см) 0,1 % концентрациясында байқалды. 0,25 % концентрациясында өркен ұзындығы 14,3 см, ал тамыр ұзындығы 13,7 см болып, өскіндердің теңдестірілген дамуын қамтамасыз етті. 0,5 % концентрациясында тамыр ұзындығы 14,94 см сәл артса да, өркен ұзындығы 13,5 см-ге дейін азайды. Ең жоғары концентрация (0,7 %) өркен ұзындығын 11,8 см, тамыр ұзындығын 10,89 см-ге дейін төмендетіп, өсу процесін тежеді (Кесте 1). Гидрогельдің төмен және орташа концентрациялары тамыр және өркен жүйесін ынталандыруға қолайлы болса, жоғары концентрация өскіндердің өсуін тежеуші әсер көрсетеді.

1 кесте – гидрогельмен өңдеу кезіндегі өнгіштік пен өскіндердің морфометриясы

Гидрогель концентрациялары (%)	$GP_3$ (%)	$GP_7$ (%)	AGT (күн)	Өркен ұзындығы (см)	Тамырша ұзындығы (см)
0	86,1	86,1	1,16	$12,7 \pm 3,8$	$11,0 \pm 3,9$
0,1	86,1	88,9	1,06	$15,0 \pm 3,2^*$	$15,25 \pm 3,5^*$
0,25	97,2	97,2	1,06	$14,3 \pm 3,1^*$	$13,7 \pm 3,0^*$
0,5	91,7	91,7	1,0	$13,5 \pm 3,4^*$	$14,94 \pm 3,6^*$
0,7	77,8	77,8	1,0	$11,8 \pm 3,7$	$10,89 \pm 3,8$

Ескерту: \* – көрсеткіштер бақылаудан статистикалық тұрғыдан маңызды түрде айырмашылық көрсетеді ( $p < 0,05$ )

Морфометриялық көрсеткіштерді талдау барысында гидрогельді қолдану өркендердің өсуіне айтарлықтай әсер етті, алайда өсу сипаты оның концентрациясына байланысты болды. Бақылау нұсқасында өркендердің орташа ұзындығы  $12,7 \pm 3,8$  см болды, бұл өркендердің гидрогельсіз табиғи өсу деңгейін көрсетеді. 0,1 % концентрацияда өркендердің өсуін ынталандыру деңгейі ең айқын байқалды. Өркендер ұзындығы  $15,0 \pm 3,2$  см-ге дейін артты, бұл көрсеткіш бақылауға қарағанда шамамен 18 % артық. Берілген ұлғаю статистикалық тұрғыдан маңызды болды ( $p < 0,05$ ), яғни тұқымдардың ылғалмен қамтамасыз етілу жағдайлары жақсарғанын, өсу аймағында жасушалық бөліну мен ұзару қарқынының жоғарылағанын көрсетуі ықтимал. 0,25 % концентрацияда сабақтардың ұзындығы да бақылауға қарағанда айтарлықтай жоғары болды. Алынған көрсеткіш 0,1 % нұсқасына қарағанда сәл төмендеу байқалғанымен, бақылаудан шамамен 13 % жоғары болып, осы концентрация диапазонында ынталандырушы әсердің сақталғанын білдіреді. Гидрогель концентрациясын 0,5 % дейін арттырғанда оң әсердің әлсіреуі байқалды. Алайда өркендердің орташа ұзындығы әлі де бақылаудан статистикалық тұрғыдан жоғары болды ( $p < 0,05$ ). Бұл субстраттағы аэрацияның шектелуін немесе полимер фазасының жоғары мөлшерінде оттегінің қолжетімділігінің төмендеуін көрсетуі мүмкін. Ең жоғары зерттелген концентрацияда сабақтардың ұзындығы  $11,8 \pm 3,7$  см-ге дейін төмендеп, бақылау деңгейінен төмен болды. Бақылаумен статистикалық айырмашылықтың болмауы ынталандырушы әсерден бейтарап немесе әлсіз тежеуші әсерге ауысқанын көрсетеді, бұл артық ылғалдың түзілуі мен тамыр аймағында газ алмасудың нашарлауымен байланысты болуы ықтимал.

Тамыршалардың өсуі өркенге қарағанда гидрогельдің әсеріне сезімтал болып шықты. Бақылау нұсқасында тамыршалардың орташа ұзындығы  $11,0 \pm 3,9$  см болды. 0,1 % концентрациядағы гидрогель енгізілген кезде тамыршалардың ұзындығы ең жоғары деңгейге жетіп, бақылауға қарағанда шамамен 39 % өсуге сәйкес келеді. Бұл айырмашылық статистикалық тұрғыдан маңызды болды ( $p < 0,05$ ), яғни тамыр түзілуіне жағдайлардың едәуір жақсарғанын, соның ішінде су қамтамасыз ету тұрақтылығы мен ылғалдылық стрессінің төмендегенін көрсетеді. 0,25 % концентрацияда тамырлардың ұзындығы бақылау деңгейінен статистикалық тұрғыдан жоғары болды ( $p < 0,05$ ). 0,5 % концентрацияда тамырлардың ұзындығы  $14,94 \pm 3,6$  см-ге дейін артты, бұл максималды мәндерге жақын болып, тамырларға осы мөлшерде айқын тежегіш әсердің жоқтығын көрсетеді. Бұл тамырлардың жоғары ылғалдылық жағдайларына өркендерге қарағанда жақсы бейімделу қабілетімен байланысты болуы мүмкін. Алайда 0,7 % концентрацияда тамырлардың ұзындығы  $10,89 \pm 3,8$  см-ге дейін күрт төмендеп, бақылау деңгейіне сәйкес келіп, статистикалық айырмашылық байқалмады. Мұндай динамика гидрогельдің артық мөлшері тамыр жүйесінің дамуына теріс әсер ететінін, субстраттың артық ылғалдануы мен оттегі мөлшерінің шектелуі салдарынан болуы мүмкін.

**Талқылау.** Осы зерттеуде алынған нәтижелер КМЦ, альгинат және ПВС негізіндегі биогидрогельдің арпа тұқымдарының өнуіне, өскіндердің ерте өсуіне және өміршеңдігіне айқын концентрацияға тәуелді әсер ететінін көрсетті. Бұл деректер гидрогельдер мен суперабсорбентті полимерлердің (SAP) ауыл шаруашылығында қолданылуына арналған көптеген алдыңғы зерттеулердің нәтижелерімен жалпы алғанда сәйкес келеді, алайда бірқатар ерекшеліктерді де айқындайды.

Көптеген авторлар гидрогельдердің тұқымдардың өнгіштігін арттырудағы негізгі механизмі олардың жоғары су сіңіру және суды біртіндеп бөлу қабілетіне байланысты екенін көрсеткен [18, 133603 б., 19, 24731 б.]. Берілген зерттеуде гидрогельдің 0,25 % концентрациясында GP<sub>3</sub> және GP<sub>7</sub> көрсеткіштерінің 97,2 %-ға дейін жоғарылауы осы тұжырымды толық растайды. Ұқсас нәтижелер рапс пен бидай тұқымдарына жүргізілген тәжірибелерде де алынған, онда хитозан мен целлюлоза негізіндегі гидрогельдер тұқымдардың біркелкі өнуін қамтамасыз еткені көрсетілген [20, 198 б., 21, 133602 б.].

GI көрсеткішінің орташа концентрацияларда (0,25–0,5 %) айтарлықтай артуы гидрогельдің өну жылдамдығына оң әсер ететінін дәлелдейді. Өнгіштік индексі тұқымның физиологиялық күйін сипаттайтын сезімтал көрсеткіш ретінде қарастырылады, және біздің деректерде GI-дің 18 %-ға дейін артуы гидрогельдің тұқымның бастапқы метаболизмін жеделдететінін көрсетеді. Бұл нәтиже Montesano et al. (2015) еңбегінде келтірілген деректермен сәйкес келеді, онда гидрогель қолдану тұқымдардың өну фазасында су стрессін төмендететіні көрсетілген [22, 455 б.].

Өскіндердің өміршеңдік индекстері (SVI I және SVI II) бойынша алынған нәтижелер де басқа зерттеулермен үйлеседі. Біздің зерттеуде SVI I-дің 0,25 % концентрацияда, ал SVI II-нің 0,1 % концентрацияда ең жоғары мәндерге жетуі гидрогельдің әртүрлі морфологиялық компоненттерге әрқилы әсер ететінін көрсетеді. Ұқсас құбылыс Albalasmeh et al. (2022) еңбегінде сипатталған, онда гидрогельдердің төмен мөлшерлері тамыр жүйесінің дамуын, ал орташа мөлшерлері өскіннің жалпы өміршеңдігін күшейтетіні көрсетілген [23, 522 б.].

Морфометриялық көрсеткіштерді салыстырмалы талдау тамыр жүйесінің гидрогель әсеріне өркендерге қарағанда анағұрлым сезімтал екенін көрсетті. Тамыр ұзындығының 0,1 % концентрацияда 39 %-ға дейін артуы тамыр аймағында судың қолжетімділігінің жоғарылауымен және жасушалардың бөлінуі мен созылуының күшеюімен байланысты болуы мүмкін. Бұл нәтиже Wu et al. (2024) зерттеулерінде келтірілген деректермен сәйкес келеді, онда гидрогельдер тамыр морфогенезін ынталандырып, өсімдіктің су мен қоректік заттарды сіңіру қабілетін арттыратыны көрсетілген [24, 3500 б.].

Берілген зерттеудің маңызды ерекшелігі – гидрогельдің жоғары концентрациясының (0,7 %) теріс әсерінің айқын көрсетілуі. Көптеген еңбектерде гидрогельдердің оң әсері басым сипатталып, олардың

артық мөлшерінің ықтимал кері әсерлері шектеулі түрде ғана талқыланады. Зерттеу барысында алынған деректерде жоғары концентрация GP, GI, SVI көрсеткіштерінің төмендеуімен, сондай-ақ өркен мен тамыр ұзындықтарының қысқаруымен сипатталды. Мұндай әсер Orkizirza et al. (2013) көрсеткендей, субстраттың артық ылғалдануына, газ алмасудың нашарлауына және тамыр аймағында гипоксиялық жағдайлардың қалыптасуына байланысты болуы мүмкін [25, 719 б.].

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер биогидрогельдердің арпа тұқымдарының ерте даму кезеңінде тиімді агротехнологиялық құрал бола алатынын растайды және бұл тиімділік олардың концентрациясына тікелей тәуелді екенін көрсетеді. Төмен және орташа концентрациялар (0,1–0,25 %) тұқымдардың өнуін, өскіндердің өміршеңдігін және морфологиялық дамуын ынталандырады, ал жоғары концентрациялар (0,7 %) керісінше, өсу процестерін тежейді. Бұл қорытындылар гидрогельдерді ауыл шаруашылығында қолдану кезінде олардың мөлшерін ғылыми негізде оңтайландыру қажеттігін көрсетеді және болашақта далалық жағдайларда ұзақ мерзімді зерттеулер жүргізудің маңыздылығын айқындайды.

**Қорытынды.** Жүргізілген зерттеу КМЦ, альгинат және ПВС негізіндегі гидрогельді қолдану тұқымдардың өнуіне, өскіндердің ерте дамуына және өсімдіктердің өміршеңдігіне айқын дозалық тәуелді әсер ететінін көрсетті. Гидрогельдің ең тиімді концентрациялары 0,1–0,25 % аралығында болып, бұл жағдайда өнгіштік пайызы 97,2 %-ға дейін артты, өну процесі жеделдеді және GI индексі жоғарылады, сондай-ақ SVI I және SVI II көрсеткіштерінің максималды мәндерімен сипатталатын өскіндердің морфологиялық дамуы ынталандырылды, өркендер мен тамырлардың орташа ұзындығы ұлғайды.

Гидрогельдің жоғары концентрациясы өскіндердің өнгіштігі мен өміршеңдік көрсеткіштерінің төмендеуіне әкелді, бұл жағдай осмотық стресс пен орта өткізгіштігінің төмендеуінен болуы ықтимал. КМЦ, альгинат және ПВС негізіндегі гидрогель тұқымдардың өнгіштігін арттыруға, өнуін жеделдетуге және толыққанды тамыр және өркен жүйесінің қалыптасуына ықпал ететін тиімді құрал болып табылады. Практикалық қолдану үшін оңтайлы концентрация диапазоны 0,1–0,25 % болып табылады, бұл өнгіштіктің жоғары деңгейін қамтамасыз етеді.

**Қаржыландыру.** Зерттеулер 2025-2027 жылдарға арналған ғылыми және (немесе) ғылыми-техникалық жобалар бойынша жас ғалымдарды гранттық қаржыландыруға арналған «Агроөнеркәсіптік кешенді тұрақты дамыту» басым бағыты бойынша ЖТН АР27508053 «Климаттың өзгеруі жағдайында астық дақылдарының күйзелісін төмендету үшін биосыдырайтын гидрогельді әзірлеу және сынақтан өткізу» тақырыбындағы жобаның қаржылық қолдауы бойынша жүргізілді.

#### ӘДЕБИЕТТЕР:

1. Reed R. C., Bradford K. J., Khanday I. **Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate** [Text] / Reed R. C., Bradford K. J., Khanday I. // *Heredity*. – 2022. – Т. 128. – №. 6. – С. 450-459. <https://doi.org/10.1038/s41437-022-00497-2>.
2. Agbna G. H. D., Zaidi S. J. **Hydrogel Performance in Boosting Plant Resilience to Water Stress—A Review** [Text] / Agbna G. H. D., Zaidi S. J. // *Gels*. – 2025. – Т. 11. – №. 4. – С. 276. <https://doi.org/10.3390/gels11040276>.
3. De Guzman J. et al. **Synthesis and characterization of ionically-crosslinked κ-carrageenan/sodium alginate/carboxymethyl cellulose hydrogel blends for soil water retention and fertilizer release** [Text] / De Guzman J. // *Solid State Phenomena*. – 2020. – Т. 304. – С. 59-65. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.304.59>.
4. Aydınoglu D., Karaca N., Ceylan Ö. **Natural carrageenan/psyllium composite hydrogels embedded montmorillonite and investigation of their use in agricultural water management** [Text] / Aydınoglu D., Karaca N., Ceylan Ö. // *Journal of Polymers and the Environment*. – 2021. – Т. 29. – №. 3. – С. 785-798.
5. Yin X. et al. **Regulating association strength between quaternary ammonium chitosan and sodium alginate via hydration** [Text] / Yin X. // *Carbohydrate Polymers*. – 2021. – Т. 255. – С. 117390. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01914-5>.
6. Hasanović M., Durmić-Pašić A., Karalića E. **Seed priming beyond stress adaptation: Broadening the agronomic horizon** [Text] / Hasanović M., Durmić-Pašić A., Karalića E. // *Agronomy*. – 2025. – Т. 15. – №. 8. – С. 1829. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117390>.
7. Poorter H. et al. **Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control** [Text] / Poorter H. // *New phytologist*. – 2012. – Т. 193. – №. 1. – С. 30-50. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x>.
8. Buitrago-Arias C. et al. **Analysis of the growth of hydrogel applications in agriculture: A review** [Text] / Buitrago-Arias C. // *Gels*. – 2025. – Т. 11. – №. 9. – С. 731. <https://doi.org/10.3390/gels11090731>.
9. Adjuik T. A. et al. **The impacts of bio-based and synthetic hydrogels on soil hydraulic properties: A review** [Text] / Adjuik T. A. // *Polymers*. – 2022. – Т. 14. – №. 21. – С. 4721. <https://doi.org/10.3390/polym14214721>.
10. Shanmugavel D., Solorza-Feria O., Kamaraj S. K. **Current trends in biopolymer-based hydrogels for use in agriculture** [Text] / Shanmugavel D., Solorza-Feria O., Kamaraj S. K. // *Biopolymeric Nanoparticles for Agricultural Applications*. – 2024. – С. 27-57. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-68834-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-68834-8_2).

11. Tariq Z. et al. **Significance of biopolymer-based hydrogels and their applications in agriculture: a review in perspective of synthesis and their degree of swelling for water holding** [Text] / Tariq Z. //RSC advances. – 2023. – Т. 13. – №. 35. – С. 24731-24754. <https://doi.org/10.1039/D3RA03472K>.
12. Sinad K. V. G., Ebubechukwu R. C., Chu C. K. **Recent advances in double network hydrogels based on naturally-derived polymers: synthesis, properties, and biological applications** [Text] / Sinad K. V. G., Ebubechukwu R. C., Chu C. K. //Journal of Materials Chemistry B. – 2023. – Т. 11. – №. 48. – С. 11460-11482. <https://doi.org/10.1039/D3TB00773A>.
13. Gronau G. et al. **A review of combined experimental and computational procedures for assessing biopolymer structure–process–property relationships** [Text] / Gronau G. //Biomaterials. – 2012. – Т. 33. – №. 33. – С. 8240-8255. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2012.06.054>.
14. Piccoli I. et al. **Hydrogels for agronomical application: from soil characteristics to crop growth: a review** [Text] / Piccoli I. //Agronomy for Sustainable Development. – 2024. – Т. 44. – №. 2. – С. 22. <https://doi.org/10.1007/s13593-024-00958-4>.
15. Park J., Guan W., Yu G. **Smart Hydrogels for Sustainable Agriculture** [Text] / Park J., Guan W. //EcoMat. – 2025. – Т. 7. – №. 4. – С. e70011. <https://doi.org/10.1002/eom2.70011>.
16. Maguire J.D. **Speed of germination – Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor.** [Text] / Maguire J.D. //Crop Sci 2. – 1962. – С.176-177.
17. Abdul-Baki A.A., Anderson J.O. **Vigour determination of soybean seed by multiplecriteria.** /Abdul-Baki A.A., Anderson J.O. // Crop Science. – 1973. – Т. 13. – С.630 – 633. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x>.
18. Qin C. C. et al. **Ultrahigh water-retention cellulose hydrogels as soil amendments for early seed germination under harsh conditions** [Text] / Qin C. C //Journal of Cleaner Production. – 2022. – Т. 370. – С. 133602. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133602>.
19. Tariq Z. et al. **Significance of biopolymer-based hydrogels and their applications in agriculture: a review in perspective of synthesis and their degree of swelling for water holding** [Text] / Tariq Z. //RSC advances. – 2023. – Т. 13. – №. 35. – С. 24731-24754. <https://doi.org/10.1039/D3RA03472K>.
20. Tang H. et al. **Application of chitin hydrogels for seed germination, seedling growth of rapeseed** [Text] / Tang H. //Journal of plant growth regulation. – 2014. – Т. 33. – №. 2. – С. 195-201. <https://doi.org/10.1007/s00344-013-9361-5>.
21. Qin C. C. et al. **Ultrahigh water-retention cellulose hydrogels as soil amendments for early seed germination under harsh conditions** [Text] / Qin C. //Journal of Cleaner Production. – 2022. – Т. 370. – С. 133602. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133602>.
22. Montesano F.F. et al. **Biodegradable superabsorbent hydrogel increases water retention properties of growing media and plant growth** [Text] / Montesano F. F. //Agriculture and agricultural science procedia. – 2015. – Т. 4. – С. 451-458. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.052>.
23. Albalasmeh A.A. et al. **Effect of hydrogel on corn growth, water use efficiency, and soil properties in a semi-arid region** [Text] / Albalasmeh A. A.//Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. – 2022. – Т. 21. – №. 8. – С. 518-524. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2022.03.001>.
24. Wu Q. et al. **Engineering rapeseed germination and root growth with mechanical strength of polysaccharide hydrogel** [Text] / Wu Q. //ACS Applied Bio Materials. – 2024. – Т. 7. – №. 5. – С. 3496-3505. <https://doi.org/10.1021/acsabm.4c00416>.
25. Oriquiriza L.J. B. et al. **Effects of hydrogels on tree seedling performance in temperate soils before and after water stress** [Text] / Oriquiriza L. J.//Journal of Environmental Protection. – 2013. – Т.4. – №. 7. – С.713-721 <https://doi.org/10.4236/jep.2013.47082>.

## REFERENCES:

1. Reed R.C., Bradford K.J., Khanday I. **Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate.** *Heredity*, 2022, vol.54, pp. 450-459. <https://doi.org/10.1038/s41437-022-00497-2>.
2. Agbna G.H.D., Zaidi S.J. **Hydrogel Performance in Boosting Plant Resilience to Water Stress—A Review.** *Gels*, 2025, vol. 11, art. 276. <https://doi.org/10.3390/gels11040276>.
3. De Guzman J., et al. **Synthesis and characterization of ionically-crosslinked κ-carrageenan/sodium alginate/carboxymethyl cellulose hydrogel blends for soil water retention and fertilizer releas.** *Solid State Phenomena*, 2020, vol. 304, pp. 59-65. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.304.59>.
4. D. Aydınoglu N., Karaca Ö. **Natural carrageenan/psyllium composite hydrogels embedded montmorillonite and investigation of their use in agricultural water management.** *Journal of Polymers and the Environment*, 2021, vol. 29, pp. 785-798.
5. Yin X., et al. **Regulating association strength between quaternary ammonium chitosan and sodium alginate via hydration.** *Carbohydrate Polymers*, 2021, vol. 255, art. 117390. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01914-5>.
6. Hasanović M., Durmić-Pašić A., Karalija E. **Seed priming beyond stress adaptation: Broadening the agronomic horizon.** *Agronomy*, 2025, vol. 15, art. 1829. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117390>.

7. Poorter H., et al. **Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control.** *New phytologist*, 2012, vol. 193, pp. 30-50. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x>.
8. Buitrago-Arias C., et al. **Analysis of the growth of hydrogel applications in agriculture: A review.** *Gels*, 2025, vol. 11, art. 731. <https://doi.org/10.3390/gels11090731>.
9. Adjuik T. A., et al. **The impacts of bio-based and synthetic hydrogels on soil hydraulic properties: A review.** *Polymers*, 2022, vol. 14, p. 4721. <https://doi.org/10.3390/polym14214721>.
10. Shanmugavel D., Solorza-Feria O., Kamaraj S. K. **Current trends in biopolymer-based hydrogels for use in agriculture.** *Biopolymeric Nanoparticles for Agricultural Applications*, 2024, pp. 27-57. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-68834-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-68834-8_2).
11. Tariq Z., et al. **Significance of biopolymer-based hydrogels and their applications in agriculture: a review in perspective of synthesis and their degree of swelling for water holding.** *RSC advances*, 2023, vol. 13, pp. 24731-24754. <https://doi.org/10.1039/D3RA03472K>.
12. Sinad K.V.G., Ebubechukwu R.C., Chu C.K. **Recent advances in double network hydrogels based on naturally-derived polymers: synthesis, properties, and biological applications.** *Journal of Materials Chemistry B*, 2023, vol. 11, pp. 11460-11482. <https://doi.org/10.1039/D3TB00773A>.
13. Gronau G., et al. **A review of combined experimental and computational procedures for assessing biopolymer structure–process–property relationships.** *Biomaterials*, 2012, vol. 33, pp. 8240-8255. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2012.06.054>.
14. Piccoli I., et al. **Hydrogels for agronomical application: from soil characteristics to crop growth: a review.** *Agronomy for Sustainable Development*, 2024, vol. 44, art. 22. <https://doi.org/10.1007/s13593-024-00958-4>.
15. Park J., Guan W., Yu G. **Smart Hydrogels for Sustainable Agriculture.** *EcoMat*, 2025, vol. 7, art. e70011. <https://doi.org/10.1002/eom2.70011>.
16. Maguire J.D. **Speed of germination – Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor.** *Crop Sci* 2, 1962, pp.176-177.
17. Abdul-Baki A.A., Anderson J.O. **Vigour determination of soybean seed by multiplecriteria.** *Crop Science*, 1973, vol. 13, pp.630 – 633. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x>.
18. Qin C.C. et al. **Ultrahigh water-retention cellulose hydrogels as soil amendments for early seed germination under harsh conditions.** *Journal of Cleaner Production*, 2022, vol. 370, art. 133602. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133602>.
19. Tariq Z., et al. **Significance of biopolymer-based hydrogels and their applications in agriculture: a review in perspective of synthesis and their degree of swelling for water holding.** *RSC advances*, 2023, vol. 13, pp. 24731-24754. <https://doi.org/10.1039/D3RA03472K>.
20. Tang H., et al. **Application of chitin hydrogels for seed germination, seedling growth of rapeseed.** *Journal of plant growth regulation*, 2014, vol. 33, pp. 195-201. <https://doi.org/10.1007/s00344-013-9361-5>.
21. Qin C.C., et al. **Ultrahigh water-retention cellulose hydrogels as soil amendments for early seed germination under harsh conditions.** *Journal of Cleaner Production*, 2022, vol. 370, art. 133602. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133602>.
22. Montesano F.F., et al. **Biodegradable superabsorbent hydrogel increases water retention properties of growing media and plant growth.** *Agriculture and agricultural science procedia*, 2015, vol. 4, pp. 451-458. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.052>.
23. Albalasmeh A.A., et al. **Effect of hydrogel on corn growth, water use efficiency, and soil properties in a semi-arid region.** *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 2022, vol. 21, pp. 518-524. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2022.03.001>.
24. Wu Q., et al. **Engineering rapeseed germination and root growth with mechanical strength of polysaccharide hydrogel.** *ACS Applied Bio Materials*, 2024, vol. 7, pp. 3496-3505. <https://doi.org/10.1021/acsabm.4c00416>.
25. Orikiriza L.J.B., et al. **Effects of hydrogels on tree seedling performance in temperate soils before and after water stress.** *Journal of Environmental Protection*, 2013, vol.4, pp. 713-721. <https://doi.org/10.4236/jep.2013.47082>.

#### Авторлар туралы мәліметтер:

Бостубаева Макпал Булатовна\* – PhD, аға оқытушы, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 01000, Астана қ., Жеңіс даңғ., 62, e-mail: [m.bostubaeva@kazatu.edu.kz](mailto:m.bostubaeva@kazatu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-0760-4339>.

Жанабергенов Аскар Оразович – аға оқытушы, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 01000, Астана қ., Жеңіс даңғ., 62, e-mail: [Zhanabergenov.a@mail.ru](mailto:Zhanabergenov.a@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0948-5932>.

Макенова Меруерт Мейрамовна – PhD, аға оқытушы, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 01000, Астана қ., Жеңіс даңғ, 62, e-mail: m.makenova@kazatu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-7232-4061>.

Бостубаева Макпал Булатовна\* – PhD, старший преподаватель, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 01000, г. Астана, проспект Женис, 62, e-mail: m.bostubaeva@kazatu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-0760-4339>.

Жанабергенов Аскар Оразович – старший преподаватель, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 01000, г. Астана, проспект Женис, 62, e-mail: Zhanabergenov.a@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0948-5932>.

Макенова Меруерт Мейрамовна – PhD, старший преподаватель, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 01000, г. Астана, проспект Женис, 62, e-mail: m.makenova@kazatu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-7232-4061>.

Bostubayeva Makpal Bulatovna\* – PhD, Senior Lecturer, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 01000, Astana, 62 Zhenis Ave., e-mail: m.bostubaeva@kazatu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-0760-4339>.

Zhanabergenov Askar Orazovich – Senior Lecturer, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 01000, Astana, 62 Zhenis Ave., e-mail: Zhanabergenov.a@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0948-5932>.

Makenova Meruert Meirambekovna – PhD, Senior Lecturer, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 01000, Astana, 62 Zhenis Ave., e-mail: m.makenova@kazatu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-7232-4061>.

МРНТИ 68.35.29:68.35.31

УДК 633.13.19:633.39

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621107>

### СМЕШАННЫЕ ПОСЕВЫ ОДНОЛЕТНИХ КУЛЬТУР ДЛЯ ЗАГОТОВКИ СЕНАЖА В УСЛОВИЯХ СОПОЧНО-РАВНИННОЙ ЗОНЫ АКМОЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Байтеленова А.А. – кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

Байдалин М.Е. – PhD, ассоциированный профессор, НАО «Кокшетау университет им. Ш.Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан.

Стыбаев Г.Ж.\* – кандидат сельскохозяйственных наук, профессор, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

Diri Kelvin Harrison – докторант 2 курса, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

В статье представлены результаты комплексных исследований, направленных на оценку эффективности совместных посевов однолетних культур при производстве сенажа в условиях сопочно-равнинной зоны Акмолинской области. Основной целью работы являлось не только выявление оптимальных сочетаний бобовых и злаковых культур, но и изучение влияния листовой обработки препаратом «Лидер С» на биометрические показатели растений, их развитие, продуктивность и качество получаемой кормовой массы. В ходе эксперимента были заложены варианты с различными бинарными смесями культур (овес, ячмень, горох, вика), а также контрольные участки с монокультурами.

Проведенные наблюдения включали оценку лабораторной и полевой всхожести семян, густоты стояния растений, высоты и облиственности, фаз фенологического развития, а также анализ урожайности и питательной ценности зеленой массы. Результаты показали, что использование бобово-злаковых смесей способствует увеличению урожайности на 30–90 % по сравнению с одноданными посевами. Дополнительное применение препарата «Лидер С» положительно сказалось на сохранности растений и обеспечило прибавку урожая на 4,7–7,7 %. Наиболее высокую продуктивность продемонстрировали посевы смеси гороха и ячменя с урожайностью до 201 ц/га. Полученные данные подтверждают целесообразность внедрения смешанных посевов как эффективного и устойчивого элемента формирования кормовой базы.

**Ключевые слова:** сенаж, овес, ячмень, горох, вика, урожайность.