

СУ ҮНЕМДЕУ МЕН ӨНІМДІЛІКТІ АРТТЫРУДА БИОКОМПОЗИТТІ ГИДРОГЕЛЬДЕРДІ ҚОЛДАНУДЫҢ АГРОТЕХНИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ

Азимов А.М.¹, PhD

azimov-78@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-1316-5854>

Изтлеуов Г.М.^{1*}, химия ғылымдарының кандидаты, профессор

gani5@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5722-342X>

Ертаева Ж.Т.², PhD

jain_0404@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8848-6794>

Болысбек А.А.¹, техника ғылымының кандидаты, доцент

aidarali@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8708-2608>

¹М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан,

²Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы қ., Қазақстан

Аңдатпа. Бұл зерттеуде ауыл шаруашылығында қолдануға арналған биокөмір-гидрогельдердің физика-химиялық және агрономиялық қасиеттері кешенді түрде зерттелді. Гидрогельдер гидролизденген полиакрилонитрил (ГИПАН) және натрий карбоксиметилцеллюлозасы (КМЦ) негізінде синтезделіп, олардың ісіну дәрежесі, су ұстау қабілеті мен механикалық тұрақтылығы анықталды. Синтез нәтижелері бойынша ең тиімді гидрогель құрамы ГИПАН/КМЦ = 70/30 қатынасы болып табылды, ол жоғары ісіну дәрежесімен (580 г/г) және 7 күннен кейінгі су ұстау қабілетімен (85%) ерекшеленді. Гидрогельдердің топырақ жағдайындағы механикалық қасиеттері зерттеліп, балшықты топырақта құрылымның тұрақтылығы 180 күнге дейін сақталатыны анықталды.

Ауыл шаруашылық тәжірибелері гидрогельдердің топырақтың физикалық параметрлеріне айтарлықтай әсер ететінін көрсетті: далалық ылғал сыйымдылығы 46,4% артты, су өткізгіштігі 37,8% төмендеді, ал әлсіреу ылғалдылығы 50% көбейді. Гидрогель құрамында инкапсуляцияланған тыңайтқыштардың (азот, фосфор, калий) бөліну тиімділігі жоғары болып, 30 күн ішінде 70-80% деңгейінде жүзеге асты, ал пайдалану тиімділігі 82-85% аралығында болды. Өсімдік өсіру тәжірибелері көрсеткендей, гидрогель енгізу (0,3%) өсімдіктердің биіктігін 20,4%, дән массасын 17,4%, өнімділігі 30,2%, ал ақуыз мөлшері 13,3% артты.

Сонымен қатар, әртүрлі ауылшаруашылық дақылдарында (бидай, жүгері, мақта, көкөністер) гидрогель қолдану өнім өсімін 25-40%, су үнемдеуді 30-50% деңгейінде қамтамасыз етті. Жалпы алғанда, гидрогельдерді қолдану топырақтың су-физикалық қасиеттерін жақсартуға, тыңайтқыштардың тиімділігін арттыруға және су ресурстарын үнемдеуге мүмкіндік береді.

Тірек сөздер: гидрогель, ауыл шаруашылығы, топырақ, ылғалды ұстау қабілеті, ісіну дәрежесі, тыңайтқыш тиімділігі, дақыл өнімділігі, суды үнемдеу.

Кіріспе. Жедел климаттық өзгерістер фонында топырақтардың деградациясы мен шөлейттену мәселесі барған сайын өзекті және ғаламдық сипатқа ие болуда. БҰҰ-ның Азық-түлік және ауыл шаруашылығы ұйымының (ФАО) бағалауы бойынша, әлемдегі топырақтардың шамамен 33%-ы әртүрлі деградация түрлеріне ұшыраған, жыл сайын 24 миллиард тоннаға дейін құнарлы топырақ қабаты жоғалуда [1,2]. Бұл процестер өнімділіктің төмендеуімен, азық-түлік және су қауіпсіздігінің шиеленісуімен, қоршаған орта сапасының нашарлауымен және биологиялық әртүрліліктің қысқаруымен қатар жүреді. Әсіресе, бұл тұрғыда құрғақ және жартылай құрғақ аймақтар осал болып табылады, мұнда агроландшафттар су тапшылығына ұшырап, интенсивті жер пайдалану мен климаттық тұрақсыздықтан зардап шегуде [3,4].

Топырақ балансының бұзылуына ықпал ететін негізгі факторлар орташа жылдық

температуралардың өсуі, құрғақшылық кезеңдерінің жиілеуі, жауын-шашынның теңсіз таралуы және булану деңгейінің артуы болып табылады. Мұндай жағдайда дәстүрлі мелиорация мен агрономиялық әдістер жиі жеткіліксіз тиімді болады. Бұзылған топырақ функцияларын қалпына келтіріп, ауыл шаруашылығы өндірісінің климаттық өзгерістерге төзімділігін арттыруға қабілетті инновациялық, тұрақты және экологиялық қауіпсіз шешімдерді енгізу қажетт [5,6].

Қазіргі агробиотехнологиялар саласындағы ең перспективалы бағыттардың бірі – биокөмпозитті ыдырайтын гидрогельдерді пайдалану. Бұл материалдар ылғалды жоғары деңгейде ұстап тұруға, оның булануын азайтуға және құрғақшылық жағдайында суды біртіндеп босатуға қабілетті [7,8]. Гидрогельдер саласындағы зерттеулердің қарқынды дамуына қарамастан, бүгінгі күні олардың медицинадағы қолданылуына – препараттарды мақсатты жеткізу, тіндерді регенерациялау және жараларды емдеу үшін қолданылуына басты назар аударылуда [9,10]. Температураға сезімтал гидрогельдер ерекше қызығушылық тудырады – бұл полимерлік құрылымдар қоршаған ортаның температурасы өзгерген кезде физика-химиялық қасиеттерін өзгертеді [11,12].

Зерттеу материалдары мен әдістемесі.

Зерттеу аймағының сипаттамасы. Зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасының оңтүстігінде орналасқан Түркістан облысының Сарыағаш ауданында жүргізілді. Ауданның табиғи-климаттық ерекшелігі – айқын континенттік және ыстық климаттық жағдай. Жаз мезгілі ұзақ әрі жауын-шашыны аз, құрғақ болып келеді. Орташа жылдық ауа температурасы шамамен 13-14 °С аралығында, ал жаз айларында көрсеткіш 35 °С-тан жоғары деңгейге жетеді. Жыл бойғы жауын-шашын көлемі 250 мм шамасында ғана, бұл ауыл шаруашылығы саласында су тапшылығының орын алуына әкеледі. Маусымдық температура айырмасы өте жоғары болғандықтан, жазғы құрғақшылық пен қысқы суық кезеңдер егіншіліктің тұрақтылығына елеулі әсер етеді және өнімділікті төмендететін негізгі факторлардың бірі болып саналады.

Гидрогельдердің түрлері

Биокөмпозиттік гидрогельдердің синтез әдісі

Биокөмпозитті гидрогельдерді алу барысында келесі реагенттер пайдаланылды: гидролизденген полиакрилонитрил (ГИПАН, 33%), натрий карбоксиметилцеллюлозасы (КМЦ, 5%) және айқас байланыс түзуші агент ретінде 0,01% N,N'-метиленбисакриламид (МБАА). Барлық қолданылған заттар аналитикалық тазалық деңгейінде болды және қосымша тазарту рәсімдерін қажет етпеді [13,14].

Синтез үрдісі бірнеше негізгі кезеңнен тұрады:

1. ГИПАН ерітіндісін дайындау.

33% концентрациялы ГИПАН ерітіндісі тазартылған суда 60 °С температурада 1 сағат бойы үздіксіз араластыру арқылы сұйылту нәтижесінде дайындалды.

2. КМЦ қосу.

Алынған ГИПАН ерітіндісіне 5% КМЦ ерітіндісі енгізіліп, 300 айн/мин жылдамдықпен біртекті масса түзілгенше араластырылды.

3. Айқас байланыстырушы агентті енгізу.

Полимерлер толық ерігеннен кейін жүйеге 0,01% МБАА ерітіндісі қосылып, кросс-байланыстыру процесі жүзеге асырылды. Реакция 70 °С температурада 2 сағат бойы жалғастырылды.

4. Қалыптау және кептіру.

Пайда болған гелдер салқындатылып, этанолмен жуылды – бұл реакцияға түспеген қалдықтарды жоюға мүмкіндік береді. Соңында үлгілер 50 °С температурада тұрақты масса алынғанға дейін кептірілді.

Гидрогелдің физика-химиялық сипаттамалары Талдау әдістері: ИК-спектроскопия (Thermo Nicolet iS50, АҚШ), рентгендік дифракция (Rigaku MiniFlex 600, Жапония), электронды микроскоп (Hitachi SU3500), термогравиметриялық талдау (TA Instruments Q50,

АҚШ). Сондай-ақ ылғал сіңіру/бөлу кинетикасы, тұзды ерітінділерде (NaCl, KCl, CaCl₂) ісіну қасиеттері, биоыдырау жылдамдығы зерттелді [14,15].

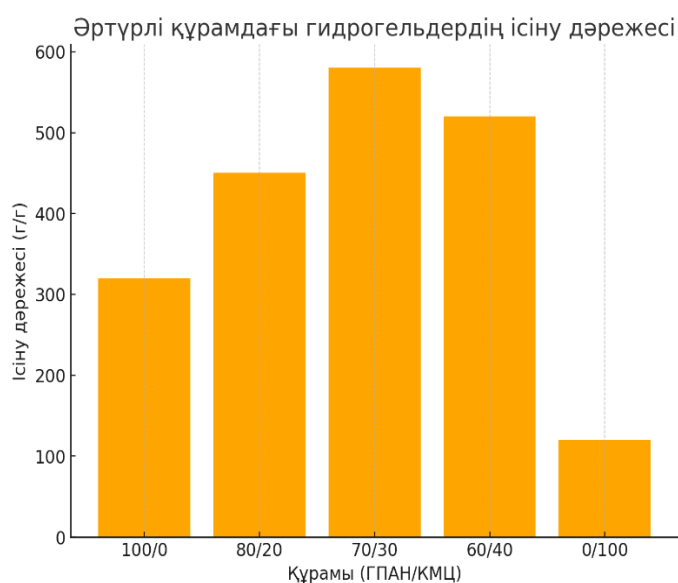
Зертханалық сынақтар Binder KBWF 240 климаттық камерасында (Германия) гидрогельдің ылғалды ұстау қабілеті, бидай тұқымының өсуіне әсері зерттелді.

Далалық эксперимент деградацияланған топырақтарда жүргізілді:

- Бақылау учаскесі: табиғи қалпына келу;
- Эксперименттік учаске: 30 г/м² гидрогель қолданылды.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Алынған деректердің дәлділігін анықтау үшін Шапиро–Уилк және Колмогоров–Смирнов әдістері пайдаланылды. Бұл әдістерді қолдану, кейбір статистикалық талдауларды дұрыс жүргізу және алынған нәтижелердің сенімділігін қамтамасыз ету үшін маңызды болып табылады.

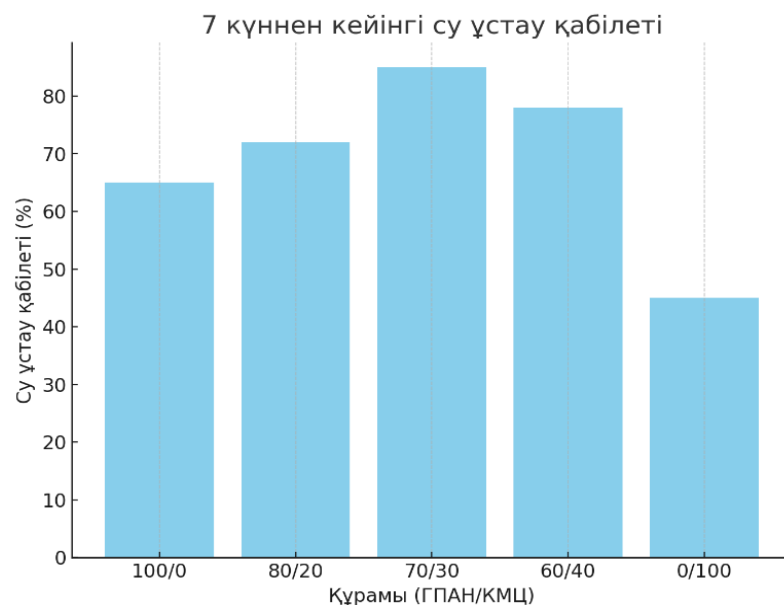
Гидрогельдердің ісіну дәрежесі олардың құрамындағы ГИПАН мен КМЦ мөлшеріне байланысты қалай өзгередінін 1- суреттен көруге болады. Кестеден байқалғандай, КМЦ мөлшері артқан сайын ісіну дәрежесі де артады. Мысалы, 100/0 құрамында ісіну дәрежесі 320 г/г болса, 70/30 құрамында ол 580 г/г-ге дейін өседі.



1-сурет – Әртүрлі құрамдағы гидрогельдердің ісіну дәрежесі

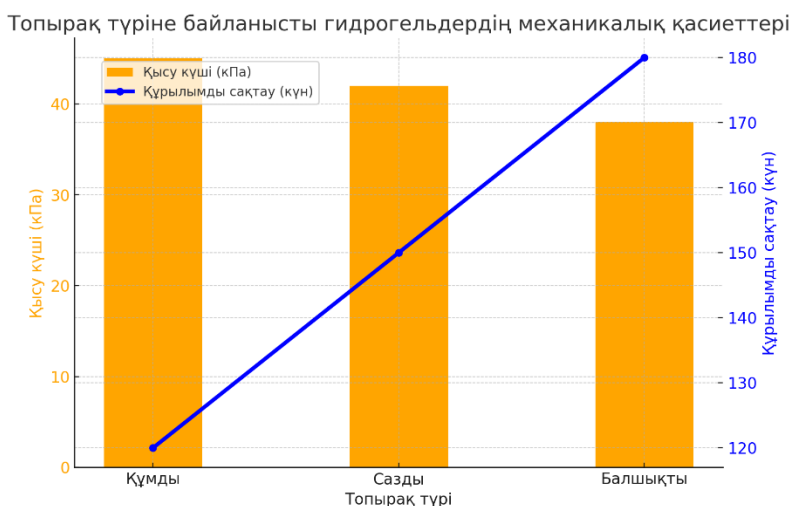
Бұл нәтиже КМЦ полимерінің гидрофильді қасиеті жоғары болғандықтан, оның суды сіңіру қабілетінің күшеюімен түсіндіріледі. Алайда КМЦ мөлшері 40%-ға жеткенде ісіну дәрежесі сәл төмендеп, 520 г/г мәніне дейін азаяды, бұл шамадан тыс айқас байланыстар түзілуімен байланысты болуы мүмкін.

Гидрогельдердің ұзақ уақыт бойы суды сақтап тұру қабілетін 2- суретте көрсетілген. Көріп отырғанымыздай, ең жоғары су ұстау көрсеткіші 70/30 құрамында байқалады – 85% шамасында. Бұл КМЦ мен ГИПАН арасындағы оңтайлы арақатынас нәтижесінде гель құрылымында тиімді су ұстайтын торлы жүйе түзілуін білдіреді. Керісінше, таза ГИПАН (100/0) немесе таза КМЦ (0/100) үлгілерінің су ұстау қабілеті төмен – сәйкесінше 65% және 45%. Бұл гидрогель құрылымында бір ғана полимердің болуы судың булануына қарсы тұрақтылықты төмендететінін көрсетеді. Диаграммаларға сүйенсек, 70/30 қатынасы гидрогель синтезі үшін ең тиімді құрам болып табылады. Бұл үлгі суды көп сіңіріп қана қоймай, оны ұзақ уақыт сақтай алады. Сондықтан мұндай биокөпозиттік гидрогельдер ауыл шаруашылығында ылғал сақтағыш материал ретінде немесе биомедициналық мақсаттарда су реттегіш орта ретінде қолдануға мүмкіндік береді.



2-сурет – Гидрогельдердің ұзақ уақыт бойы суды сақтап тұру қабілеті

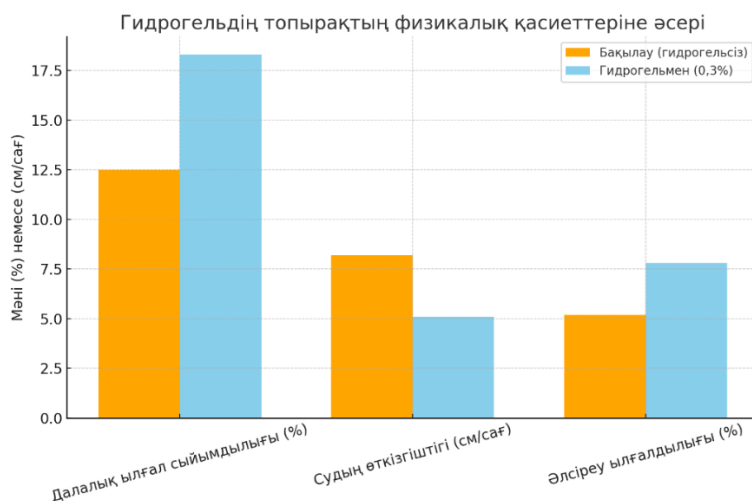
Топырақ түріне байланысты механикалық қасиеттердің өзгеруі 3-ші суретте көрсетілген. Бұл кестеде әртүрлі топырақ түрлеріндегі гидрогельдердің механикалық қасиеттері салыстырылып көрсетілген. Негізгі екі параметр қарастырылған: а) қысу күші (кПа) – материалдың сыртқы күшке төзімділігін сипаттайды; б) Құрылымды сақтау ұзақтығы (күн) – гидрогельдің топырақ жағдайында пішінін және құрылымдық тұрақтылығын қанша уақыт бойы сақтай алатынын көрсетеді. Кестеден байқағанымыздай, гидрогельдердің қысу күші топырақ түріне байланысты сәл өзгереді. Құмды топырақта қысу күші ең жоғары – 45 ± 3 кПа, бұл гидрогель бөлшектері арасындағы бос кеңістік көп болғандықтан материал қысқа уақыт ішінде нығаятынын көрсетеді. Сазды топырақта бұл көрсеткіш сәл төмен – 42 ± 3 кПа. Слайеу (балшықты) топырақта қысу күші ең төмен – 38 ± 3 кПа, себебі мұндай ортада гидрогельдің ісінуі мен су сіңіруі жоғары болып, құрылымның беріктігі азаяды.



3- сурет – Топырақ түріне байланысты механикалық қасиеттердің өзгеруі

4-суретте гидрогель енгізудің топырақтың негізгі физикалық қасиеттеріне әсері көрсетілген. Зерттеу барысында үш көрсеткіш қарастырылды: далалық ылғал сыйымдылығы, судың өткізгіштігі, және әлсіреу ылғалдылығы. Гидрогель енгізу (0,3%) топырақтың су ұстау қабілетін айтарлықтай арттырды. Бақылау үлгісінде бұл көрсеткіш 12,5%, ал гидрогель қосылған нұсқада 18,3% құрады. Бұл айырмашылық +46,4% өсімді көрсетеді. Мұндай

нәтиже гидрогельдің жоғары су сіңіру қасиеті мен топырақ ылғалын ұзақ уақыт сақтай алу қабілетінің дәлелі болып табылады. Гидрогель бөлшектері су молекулаларын байланыстырып, олардың булануын баяулатады, нәтижесінде топырақтағы тиімді ылғал көлемі ұлғаяды. Керісінше, гидрогель енгізілген жағдайда топырақтың су өткізгіштігі төмендеді. Бақылау нұсқасында ол 8,2 см/сағ, ал гидрогельмен өңделген топырақта 5,1 см/сағ болды, яғни 37,8%-ға азайды. Бұл гидрогель бөлшектерінің топырақ кеуектерін ішінара толтыруымен және судың тез ағып кетуін шектеуімен байланысты. Сондықтан гидрогель топырақ құрылымында су қозғалысын баяулатып, судың жер қабатында ұзағырақ сақталуын қамтамасыз етеді.

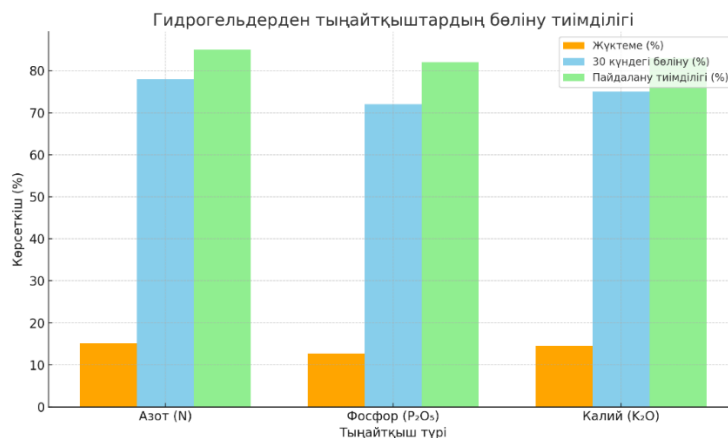


4-сурет – Гидрогельдің топырақтың физикалық қасиеттеріне әсері

Гидрогельдің тағы бір маңызды әсері – топырақтың әлсіреу ылғалдылығының артуы. Бұл көрсеткіш бақылау үлгісінде 5,2%, ал гидрогель қосылғанда 7,8% болды (+50,0% өзгеріс). Бұл гидрогельдің топырақтағы суды өсімдікке қолжетімді күйде ұстау қабілетін күшейтетінін білдіреді. Жалпы алғанда, гидрогельдің топыраққа қосылуы оның ылғал сақтау қабілетін арттырып, судың тез сіңуін тежейді, және топырақтағы өсімдікке қолжетімді судың үлесін ұлғайтады. Мұндай өзгерістер әсіресе құрғақ және жартылай құрғақ климаттық аймақтарда ауыл шаруашылығы үшін тиімді, себебі олар суару жиілігін азайтып, өсімдік өнімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

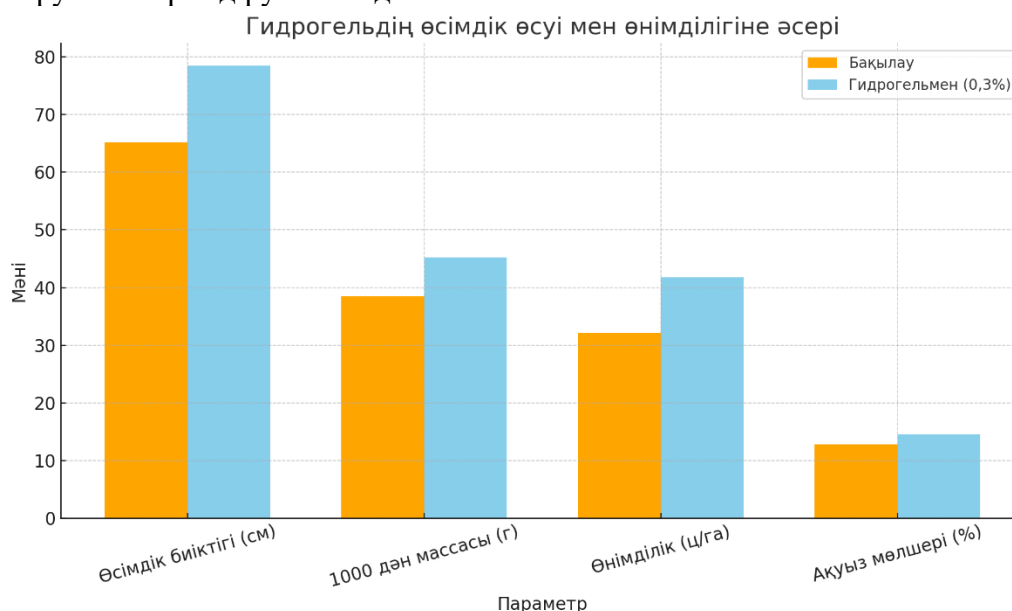
5- суретте гидрогель құрамында инкапсуляцияланған азот (N), фосфор (P_2O_5) және калий (K_2O) тыңайтқыштарының 30 күн ішіндегі бөліну және тиімді пайдалану деңгейін көрсетеді. Азоттың гидрогельге енгізілу жүктемесі 15,2%, ал 30 күн ішінде бөліну мөлшері 78% шамасында болды. Пайдалану тиімділігі 85%, яғни азот тыңайтқышының едәуір бөлігі өсімдіктерге қолжетімді күйде сақталғанын көрсетеді. Бұл гидрогель матрицасы азоттың жуылып кетуін баяулатып, оны біртіндеп босатып отыратынын дәлелдейді. Фосфордың бастапқы жүктемесі 12,8%, бөліну деңгейі 72%, ал тиімділігі 82% құрады. Бұл көрсеткіш фосфор иондарының топырақта баяу қозғалатынын және гидрогель жүйесінің оларды біртіндеп босатып, өсімдікке үздіксіз жеткізуге мүмкіндік беретінін көрсетеді. Калий гидрогельге 14,5% мөлшерінде енгізіліп, 30 күн ішінде 75% бөлінді. Пайдалану тиімділігі 83%, бұл оның да баяу босатылу механизмі арқылы топырақта ұзақ сақталатынын дәлелдейді.

6-суретте өсімдіктердің морфологиялық және өнімдік көрсеткіштеріне гидрогельді енгізудің (0,3%) ықпалын сипаттайды. Зерттеу нәтижелері гидрогель қолданылған үлгілерде барлық параметрлер бойынша оң өзгеріс болғанын көрсетті.



5- сурет – Гидрогельдерден тыңайтқыштардың бөліну тиімділігіне талдау

Гидрогель енгізілген жағдайда өсімдік биіктігі бақылаумен салыстырғанда 65,2 см-ден 78,5 см-ге дейін артты, яғни өсім +20,4% құрады. Бұл нәтижені гидрогельдің топырақтағы ылғалды ұзақ сақтау қабілетімен және тамыр жүйесінің белсенді дамуына қолайлы орта қалыптастыруымен түсіндіруге болады.

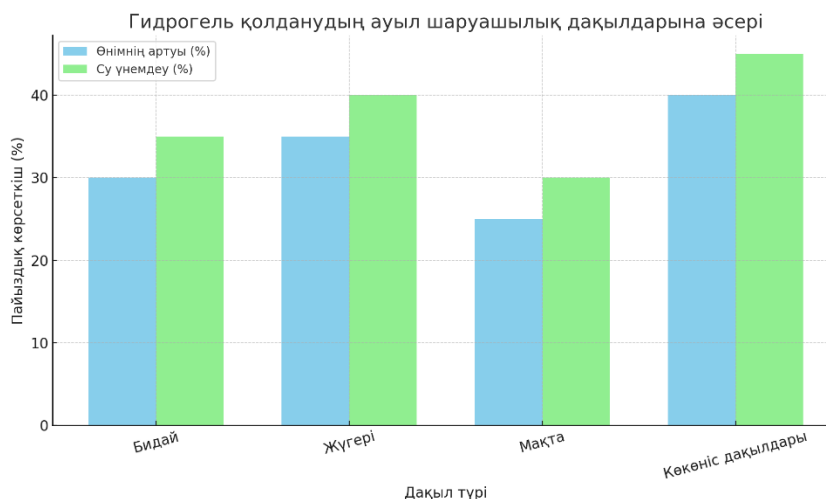


6- сурет – Гидрогельдің өсімдік өсуі мен өнімділік көрсеткіштеріне әсері

Дәннің массасы гидрогель әсерінен 38,5 г-нан 45,2 г-ға дейін ұлғайған (+17,4%). Бұл өсім қоректік заттардың біртіндеп босатылуы мен топырақтағы ылғалдылықтың тұрақтануына байланысты, нәтижесінде дәндердің толық пісіп-жетілуі қамтамасыз етілген. Ең айқын нәтиже өнімділік көрсеткішінде байқалды: 32,1 ц/га-дан 41,8 ц/га-ға дейін, яғни +30,2% арту. Гидрогель топырақтағы су мен қоректік заттардың тепе-теңдігін сақтап, өсімдіктің физиологиялық белсенділігін арттырды, бұл өз кезегінде өнімнің жоғарылауына әсер етті. Өнімнің сапалық көрсеткіші де жақсарды: ақуыз мөлшері 12,8%-дан 14,5%-ға дейін өсті (+13,3%). Бұл гидрогельдің қоректік элементтердің қолжетімділігін арттыру арқылы азот алмасу процестерін күшейткенін көрсетеді. Жалпы алғанда, гидрогель енгізу өсімдік дамуына кешенді оң әсер етеді – ол өсімдіктің биіктігін арттырады, дәннің салмағын көбейтеді, өнімділікті 30% шамасында жоғарылатады, және ақуыз құрамын арттырады. Бұл гидрогельдерді ауыл шаруашылығында су үнемдеу және тыңайтқыш тиімділігін арттыру технологияларының маңызды элементі ретінде пайдалануға болатынын дәлелдейді.

Гидрогель енгізудің әртүрлі ауылшаруашылық дақылдарына әсерін 7-суретте көрсетілген. Зерттеу нәтижелері бойынша гидрогель қолдану барлық зерттелген дақылдарда

өнім артуы мен су үнемдеудің айқын оң динамикасын көрсетті. Бидайда гидрогельдің оңтайлы концентрациясы 0,2–0,3% аралығында анықталды. Бұл жағдайда өнімділік 30%-ға артса, су үнемдеу 35% деңгейінде болды. Мұндай нәтиже гидрогельдің топырақта ылғалды ұстап тұру қабілетінің жоғары болуымен және өсімдіктердің вегетациялық кезеңінде тұрақты ылғалмен қамтамасыз етілуімен түсіндіріледі. Жүгері үшін тиімді концентрация 0,3-0,4% аралығында. Өнім өсімі 35%, су үнемдеу 40% деңгейінде тіркелді. Бұл гидрогельдің жоғары температура мен құрғақ климат жағдайында судың булануын азайту қабілетіне байланысты, нәтижесінде фотосинтез бен қоректік заттардың тасымалы тиімді жүреді.



7- сурет – Гидрогель енгізудің әртүрлі ауылшаруашылық дақылдарына әсері

Мақтада гидрогель концентрациясы 0,3-0,5%, өнім өсімі 25%, ал су үнемдеу 30% шамасында болды. Бұл көрсеткіштер мақта өсімдігінің терең тамыр жүйесі мен суға жоғары қажеттілігін ескергенде тиімді нәтиже болып саналады. Көкөніс түрлерінде гидрогельдің оңтайлы мөлшері 0,4-0,6%. Өнімділік 40%-ға дейін артса, су үнемдеу 45%-ға жетті. Бұл гидрогельдің топырақтың физикалық қасиеттерін жақсартып, ылғалдың біркелкі таралуын қамтамасыз етуімен байланысты. Гидрогельдерді ауыл шаруашылығында қолдану өнімділікті 25-40% арттырумен қатар, су ресурстарын 30–50% үнемдеуге мүмкіндік береді. Нәтижелер гидрогельдің ылғал сақтау, топырақ құрылымын тұрақтандыру және қоректік заттарды біртіндеп босату қасиеттері оның агротехнологиялық маңызын дәлелдейді. Сондықтан гидрогельдер – құрғақ аймақтардағы су тапшылығын азайту мен тұрақты егіншілікті дамытуға арналған инновациялық шешімдердің бірі болып табылады.

Қорытынды. Зерттеу барысында гидрогельдердің физика-химиялық және агротехникалық қасиеттері жан-жақты талданды. Алынған нәтижелер гидрогельдердің топырақтың құрылымын, су режимін және өсімдіктердің өнімділігін арттырудағы тиімді рөлін айқын көрсетті. Гидрогельдердің ісіну дәрежесі олардың құрамындағы ГИПАН мен КМЦ қатынасына байланысты екені анықталды. Ең жоғары ісіну көрсеткіші 70/30 құрамында байқалып, бұл құрам суды ең көп сіңіріп, ұзақ ұстай алатынын көрсетті. 7 күннен кейінгі су ұстау қабілеті де дәл осы құрамда 85% деңгейінде тіркелді, бұл гидрогельдің ұзақмерзімді тұрақтылығын дәлелдейді. Гидрогель енгізілген әртүрлі топырақ түрлерінде қысу күші аздап төмендегенімен, құрылымның сақталу уақыты айтарлықтай ұзарды. Мысалы, балшықты топырақта гидрогель құрылымы 180 күнге дейін тұрақты сақталды. Топырақтың далалық ылғал сыйымдылығы гидрогель әсерінен 46,4%-ға артқан, ал су өткізгіштігі 37,8%-ға азайған, бұл судың тиімді пайдаланылуын қамтамасыз етті. Гидрогель құрамында инкапсуляцияланған тыңайтқыштар (азот, фосфор, калий) 30 күн ішінде 70-80% деңгейінде бөлініп, пайдалану тиімділігі 82-85% құрады. Бұл нәтижелер гидрогельдің тыңайтқыштарды біртіндеп және бақыланатын босату қабілетін, сондай-ақ қоректік

заттардың шайылып кетуін төмендетуін дәлелдейді. Гидрогель енгізілген тәжірибелік учаскелерде өсімдік биіктігі 20%, 1000 дәннің массасы 17%, өнімділік 30%, ал дәндегі ақуыз мөлшері 13% артқаны анықталды. Бұл гидрогельдердің топырақтағы ылғал мен қоректік элементтердің тиімді сақталуын қамтамасыз етіп, өсімдік физиологиясына оң әсер еткенін көрсетеді. Гидрогель енгізудің оңтайлы концентрациясы дақыл түріне байланысты 0,2-0,6% аралығында анықталды. Өнім өсімі 25-40%, су үнемдеу деңгейі 30–50% шегінде болды. Ең жоғары көрсеткіштер көкөніс дақылдарында байқалды (өнім өсімі 40%, су үнемдеу 45%). Жүргізілген зерттеулер гидрогельдердің ауыл шаруашылығында қолданылуы: топырақтың су-физикалық қасиеттерін жақсартады, тыңайтқыштардың тиімділігін арттырады, өсімдік өсуін жеделдетеді және өнім сапасын жақсартады, су ресурстарын үнемдеуді қамтамасыз етеді. Осылайша, гидрогельдерді құрғақ және су тапшылығы бар аймақтарда пайдалану – тұрақты ауыл шаруашылығын дамытудағы инновациялық әрі экологиялық тиімді шешім болып табылады.

Қаржыландыру. Бұл зерттеу, BR24993129 “Ылғалды сіңіріп, сақтауға және ылғалдың бөлінуін реттеуге қабілетті биологиялық ыдырайтын ыстыққа сезімтал гидрогельді әзірлеу” № 393-ПЦФ-24-26 бағдарламасы аясында жүргізілді, ҚР Ғылым және Жоғары Білім министрлігі қаржыландырады.

Әдебиеттер:

- [1] **Zhang, Y.**, Chen L., Wang H., Li J. (2022). Biodegradable superabsorbent hydrogels for soil moisture management. *Carbohydrate Polymers*, 292, 119693. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119693>
- [2] **Liu, X.**, Chen D., Zhou W. (2021). Development of polyacrylonitrile-based hydrogels with enhanced water retention. *Polymer Testing*, 96, 107094. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2021.107094>
- [3] **Wang, C.**, Liu S., Ahmed R. (2023). Synthesis of CMC/PAA hydrogels for agricultural applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(2), 109835. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109835>
- [4] **Park, H.**, Kim H., Lee S. (2023). HPAN-based biogels with improved swelling and thermal stability. *Polymers*, 15(6), 1423. <https://doi.org/10.3390/polym15061423>
- [5] **Rana, D.**, Verma N., Kaur P. (2020). Natural polymer-based hydrogels: design, properties, and agricultural use. *Progress in Polymer Science*, 111, 101314. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2020.101314>
- [6] **Li, Q.**, Zhao Y., Wang M. (2021). Biodegradation kinetics of cellulose-containing hydrogels in soil. *Applied Polymer Science*, 138(14), 50291. <https://doi.org/10.1002/app.50291>
- [7] **Chen, J.**, Liu X., Zhang Y. (2024). Smart hydrogels for sustainable crop growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 72(4), 987–996. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c08071>
- [8] **Rashidov, T.**, Makhmudov A., Isakov I. (2022). Hydrogel technology for arid land agriculture in Central Asia. *Central Asian Journal of Environmental Science*, 4(2), 45–58.
- [9] **Singh, R.**, Kumar P. (2022). Eco-friendly superabsorbent hydrogels for soil water retention. *Materials Today Sustainability*, 17, 100115. <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2022.100115>
- [10] **Wang, X.**, Zhang X., Liu S. (2024). Degradation behavior of hybrid PAN/CMC hydrogels under soil conditions. *Environmental Advances*, 8, 100488. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2024.100488>
- [11] **Malik, S.**, Chaudhary K., Malik A., Punia H., Sewhag M., Berkesia N., Nagora M., Kalia S., Malik K., Kumar D., Kumar P., Kamboj E., Ahlawat V., Kumar A., Boora K. (2022). Superabsorbent polymers as a soil amendment for increasing agriculture production with reducing water losses under water stress condition. *Polymers*, 15(1), 161. <https://doi.org/10.3390/polym15010161>
- [12] **Zhildikbayeva, A.**, D. Molzhigitova S. Turgunaliyev S. Elemesov N. Ashimkhan, (2023). Efficiency of land use by peasant farms in the southern region of kazakhstan. *Izdenister Natigeler*, (1 (97), 110–118. <https://doi.org/10.37884/1-2023/13>
- [13] **Azimov Abdugani**, Bolysbek Aidarbek, Itzleuov Gani, Ashirbayev Zhandos, Development and Characterization of Novel Biodegradable Hydrogels With Controlled Moisture Release for Smart Packaging Materials, *Polymer Engineering and Science*, DOI: 10.1002/pen.70053,

[14] **Bolysbek, A.A.**, Azimov A., Iztleuov G.M., Djalilov A.T., Shirinov S.D. Hydrogel Based On Starch, Acrylamide And Kaoline, *Rasayan Journal of Chemistry* Open source preview, 2024, 17(3), pp. 848–854, DOI: 10.31788/RJC.2024.1738844

[15] **lv, T.**, Chen Y., Li N., Liao X., Heng Y., Guo Y., Hu K.A Comprehensive Review of Thermosensitive Hydrogels: Mechanism, Optimization Strategies, and Applications. *Gels*. 2025;11(7):544. doi: 10.3390/gels11070544.

АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БИОКОМПОЗИТНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ И ЭКОНОМИИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Азимов А.М.¹, PhD

Изtleуов Г.М.^{1*}, кандидат химических наук, профессор

Ертаева Ж.Т.², PhD

Болысбек А.А.¹, кандидат технических наук, доцент

¹ Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

² Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы, Республика Казахстан

Аннотация. В данном исследовании проведено комплексное изучение физико-химических и агрономических свойств биокomпозитных гидрогелей, предназначенных для применения в сельском хозяйстве. Гидрогели были синтезированы на основе гидролизованного полиакрилонитрила (ГИПАН) и натриевой карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), при этом были определены показатели степени набухания, водоудерживающей способности и механической устойчивости. По результатам синтеза наиболее эффективным составом гидрогеля был признан ГИПАН/КМЦ = 70/30, который характеризуется наибольшей степенью набухания (580 г/г) и водоудерживающей способностью (85%) через 7 дней. Изучение механических свойств показало, что структура гидрогеля сохраняет стабильность в глинистой почве до 180 дней.

Полевые агрономические опыты показали, что введение гидрогелей значительно влияет на физические параметры почвы: увеличилась полевая влагоёмкость на 46,4%, водопроницаемость снизилась на 37,8%, а влажность увядания повысилась на 50%. Эффективность высвобождения удобрений (азот, фосфор, калий), инкапсулированных в структуру гидрогеля, оказалась высокой: за 30 дней выделилось 70–80% питательных веществ, при этом коэффициент их использования составил 82–85%. Опыты по выращиванию растений показали, что применение гидрогеля (0,3%) способствует увеличению высоты растений на 20,4%, массы 1000 зёрен – на 17,4%, урожайности – на 30,2%, а содержания белка – на 13,3%. Кроме того, при возделывании различных сельскохозяйственных культур (пшеница, кукуруза, хлопчатник, овощные культуры) использование гидрогеля обеспечило рост урожайности на 25-40% и экономию воды на 30–50%. В целом применение гидрогелей способствует улучшению водно-физических свойств почвы, повышению эффективности использования удобрений и рациональному расходованию водных ресурсов. Полученные результаты подтверждают, что гидрогели являются эффективным элементом устойчивого земледелия и водосберегающих технологий, особенно в условиях засушливых и полусухих регионов.

Ключевые слова: гидрогель, сельское хозяйство, почва, водоудерживающая способность, степень набухания, эффективность удобрений, урожайность, водосбережение

AGROTECHNICAL FUNDAMENTALS OF USING BIOCOMPOSITE HYDROGELS TO IMPROVE PRODUCTIVITY AND WATER CONSERVATION

Azimov A.M.¹, PhD

Iztileuov G.M.^{1*}, Candidate of Chemical Sciences, Professor

Yertayeva Zh.T.², PhD

Bolysbek A.A.¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

¹ JSC "M. Auezov South Kazakhstan University", Shymkent, Kazakhstan

² JSC "Kazakh National Agrarian Research University", Almaty, Republic of Kazakhstan

Annotation. This study provides a comprehensive investigation of the physicochemical and agronomic properties of biocomposite hydrogels developed for agricultural applications. The hydrogels were synthesized based on hydrolyzed polyacrylonitrile (HPAN) and sodium carboxymethylcellulose (CMC), and their swelling capacity, water-retention ability, and mechanical stability were determined. According to the synthesis results, the optimal hydrogel composition was found to be HPAN/CMC = 70/30, which exhibited the highest swelling ratio (580 g/g) and a water-retention capacity of 85% after seven days. Mechanical testing of the hydrogels under soil conditions revealed that their structural stability was maintained for up to 180 days in clayey soil. Agronomic field experiments demonstrated that the introduction of hydrogels had a significant positive effect on soil physical properties: the field moisture capacity increased by 46.4%, water permeability decreased by 37.8%, and wilting moisture content rose by 50%. The release efficiency of fertilizers (nitrogen, phosphorus, potassium) encapsulated within the hydrogel matrix was high – reaching 70-80% within 30 days – while the overall utilization efficiency ranged between 82-85%. Plant growth experiments showed that hydrogel application (0.3%) increased plant height by 20.4%, thousand-grain weight by 17.4%, crop yield by 30.2%, and protein content by 13.3%. Moreover, for different agricultural crops (wheat, maize, cotton, and vegetables), the use of hydrogels resulted in yield increases of 25-40% and water savings of 30–50%. Overall, the application of hydrogels contributes to improving the water-physical properties of soils, enhancing fertilizer efficiency, and reducing water consumption. These results confirm that hydrogels are an effective component of sustainable agriculture and water-saving technologies, particularly valuable for arid and semi-arid regions.

Keywords: hydrogel, agriculture, soil, water retention capacity, swelling ratio, fertilizer efficiency, crop yield, water conservation.