

М.Е. Даулетқұл¹, З.Б. Тұңғышбаева¹, У.Янкевич², Ә.Қ. Қыдырбаева³, А.Турсынханқызы⁴

¹Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан
(e-mail: Dauletkul_meirzhan@mail.ru)

²Варшава жаратылыстану ғылыми университеті, Варшава, Польша
(e-mail: urszula_jankiewicz@sggw.edu.pl)

³С.Ж. Асфендияров атындағы Қазақ Ұлттық Медицина Университеті Алматы қ.,
Қазақстан (e-mail: asem.kudyrbaeva@mail.ru)

⁴Қазақстан-Ресей медицина университеті, Алматы қ., Қазақстан
(e-mail: maira@mail.ru)

ДЕГРАДАЦИЯЛАНУ МЕН ШӨЛЕЙІТТЕНУДЕН ҚОРҒАУ ҮШІН ФЕРМЕНТТІК ИНДУКЦИЯЛАНҒАН КАЛЬЦИЙ КАРБОНАТЫНЫҢ ТҮНБАСЫ АРҚЫЛЫ ҚҰМ МЕН ТОЗҒАН ТОПЫРАҚТЫ НЫҒАЙТУ

Аңдатпа

Бұл мақалада ферменттік индукцияланған кальций карбонатының түнбасы әдісі яғни, EICP (Enzymatic Induced Calcite precipitation) - ерітіндісінің тозған топырақтың құрылымын нығайту. Ауыл шаруашылығында шөлейтті зонадағы құмды нығайту үшін пайдаланылды. Құмды дауылдар - әлемдегі ауыр табиғи апаттарға жатады және онымен күресудің тиімді және экологиялық таза әдісін ұсынудың маңызы зор. Бұл биогеотехникалық әдіс-несепнәрдің гидролизденіп, уреаза ферментімен катализдену нәтижесінде кальций карбонаты түнбасының (CaCO₃) түзілуі арқылы жасалынады. Ерітіндінің құрамы 1М несепнәрден, кальций хлоридінен 0,78М (CaCl₂) және 4г/л уреаза ферментінен тұрады. Осы аталған ерітіндімен өңдеу нәтижесінде құмның бөлімдерін бір-бірімен байланыстыратын, кристалл түзеді, яғни карбонаттың түндырылуы барысында, топырақтың өткізгіштігін төмендете отырып, оның беріктік қасиетін қамтамасыз етеді. Алайда, бұл әдістің негізінде жасалған ерітіндінің жасауға қолданылатын уреаза ферментінің көп мөлшерде қажеттілігіне байланысты, ауқымды қаржыны талап етеді. Тек ферменттің өзі ерітінді дайындауға кететін шығынның 95%-дан астамын құрайды. Сондықтан, зерттеу жұмыстарын ары қарай жетілдіру үшін уреаза ферментін алмастыратын яғни, уреаза ферментін түзетін табиғи субстрат қажет. Шөптесін өсімдіктердің тұқымын және ферменттік өңдеу әдістері экологиялық үйлесімділігі болуы шөлейттенуді азайтуға тиімділігін көрсетті. Өңдеу нәтижесінде жел эрозиясы мен жауын-шашынға да төзімділігі айтарлықтай дәрежеде жақсартқанын көрсетті, бұл шөлейттенудің алдын алудың тиімді әдісін қамтамасыз етеді.

Бұл зерттеу жұмысына уреаза ферментін ауыстыратын табиғи шикізат өнімі ретінде фермент майбұршақ – Соя-Glycine max (L.) Merrill бөлініп алынды. Топырақты (Ақтау құмы) EICP ерітіндісімен өңдеу арқылы, олардың құрамындағы ферменттердің белсенділігін арттырып, карбонаттың түндырылу дәрежесінің жоғары болуына алып келеді. Сонымен қатар, топырақты ферменттік индукцияланған кальций карбонатының ерітіндісімен өңдеу барысында түзілген ағын сулардан несепнәр мен кальций хлоридін түзіледі, бірақ уреазалық ферменттерді түзбейтіндігі анықталды. Фермент топырақ құрамындағы несепнәр мен кальций карбонатымен әрекеттесіп, карбонаттың түндырылуын түзіп, топырақ бөлімдерінің бір-бірімен байланыстыру арқылы кальций карбонатының кристаллын түзеді. Түзілген кальций карбонатының кристаллы топырақ бөлімдерін нығайтып, оны борпылдақ күйінен қатты тығыздалған күйге айналдырады.

Нығайтылған құм бағандары сканерлеуші электронды микроскоппен түсірілді.

Түйін сөздер: Биогеотехника, топырақ, нығайтылу, биоцемент, EICP.

Кіріспе

Қазіргі кезеңде жаһандық проблемалардың бірі жердің тозуы және шөлейттенуі болып табылады. Желдің әсерінен құмның көшіп, топырақтың шөлейттенуі салдарынан ауылшаруашылық жерлері шөлге айналууда [1]. Жел эрозиясы - топырақтың тозуының негізгі факторларының бірі, сонымен қатар құрғақ, жалпы алғанда экожүйелердің функционалдығының төмендеуі нәтижесінде аумақтардың биоалуан түрлілігіне теріс әсер көрсетеді [2]. Құмды дауылдар - әлемдегі ауыр табиғи апаттарға жатады және онымен күресудің тиімді және экологиялық таза әдісін ұсынудың маңызы зор. Бұл зерттеуде ферменттік өңдеу технологиясы жер қыртысын минералдандыру және шөлдік зондағы құмды нығайту үшін пайдаланылды. Шөптесін өсімдіктердің тұқымын және ферменттік өңдеу әдістері экологиялық үйлесімділігі болуы шөлейттенуді азайтуға тиімділігін көрсетті. Ферменттік өңдеу нәтижесінде жел эрозиясы мен жауын-шашынға да төзімділігі айтарлықтай дәрежеде жақсартқанын көрсетті, бұл шөлейттенудің алдын алудың тиімді әдісін қамтамасыз етеді. Қазақстандағы жердің шамамен алғанда 76,1%-ға жуығы ($2,07 \times 10^6$ км²) шөлейттену қаупінің таралуының орташа және одан жоғары аумағын көрсетті, оның 18,3% - ы ($0,50 \times 10^6$ км²) таралуы жоғары және өте жоғары аймақтарға кіреді. Сонымен қатар, 12,7% ($0,35 \times 10^6$ км²) шөлейттену қаупінің таралуы төмен аймақтарына жатады [3]. Шөлдену қаупінің таралуы тұрғысынан Қазақстанның көптеген аудандары орташа деңгейді ал шөлдену қаупінің таралуының жоғары аудандарына негізінен батыс және орталық-оңтүстік аймақтары кіреді, ал шөлейттену қаупі солтүстік, шығыс және оңтүстік аймақтарда салыстырмалы түрде төмен. Атап айтқанда, Қазақстанның батысында орналасқан Атырау, Ақтөбе, Шығыс Маңғыстау және оңтүстік-батыс Қостанайдың көп бөлігі шөлдену қаупінде. Бұл аймақтардың экожүйелері негізінен шабындықтар немесе шөлдер болып табылады, ал жер үсті өсімдіктерінің жамылғысы салыстырмалы түрде төмен. Климаттың өзгеруінің және адамдардың шамадан тыс табиғатқа зиянды әрекеттерінің әсерінен шөлейттену қаупі жоғары.

Кесте 1-Қазақстанның аймақтарындағы шөлейттенудің таралуының көрсеткіші:

Аймақтар	Шөлейттену аймағы/(км ²)	Шөлейттенудің таралу аймағының пайыздық көрсеткіші/(%)	Қазақстандағы шөлейттену аймақтарының үлесі/(%)
Батыс Қазақстан	28,020	18.1%	26.8%
Қызылорда	24,100	10.5%	23.1%
Ақтөбе	14,414	4.8%	13.8%
Қостанай	8879	4.4%	8.5%
Маңғыстау	8682	5.2%	8.3%
Атырау	6748	5.7%	6.5%
Ақмола	5325	3.6%	5.1%
Оңтүстік Қазақстан	2629	2.3%	2.5%
Қарағанды	2039	0.5%	2.0%
Жамбыл	988	0.7%	0.9%
Солтүстік Қазақстан	985	1.0%	0.9%
Алматы	918	0.4%	0.9%
Павлодар	444	0.4%	0.4%
Шығыс Қазақстан	226	0.1%	0.2%
Қазақстан	104,397	3.8%	100%

Қазақстанның жер бедерінің 76,1% -ы орташа немесе одан жоғары шөлейттену қаупіне қарамастан, бұл жерлер әлі де егістік жерлер, шабындықтар мен құмды жерлер немесе шөлдер болып табылады. Климаттың қолайсыз өзгерістері немесе адамның шамадан тыс табиғатты ластауы орын алмаса, жоғарыда аталған аймақтар экологиялық деградациялық аймақтарына айналмайды; яғни егістік жерлер мен жайылымдардан шөлге айналмайды. Қазақстанда құмның көшуі Маңғыстау облысы, Жамбыл облысының Мойынқұм ауданында, Арал теңізіне жақын өңірлерде қатты байқалады. Бұл жағдай жылдан жылға терең ауқымды мәселелердің біріне айналып келеді. Бүгінгі таңда құмның көшу жолдарының алдын алмаса құнарлы жердің азаюына алып келеді. Соңғы жылдары «Микробиологиялық индукцияланған кальций карбонатының тұнбасы (МІСР)» мен «Ферменттік индукцияланған кальций карбонатының тұнбасы (ЕІСР)» әдістері танымал бола бастады[4]. Микробиологиялық әдіспен құмды нығайтуға кальций карбонатын (кальцит) тұндыруды қолдану мүмкіндігі артып, оның кең таралуына және зерттелуіне алып келді. Қазіргі уақытта құмды нығайтуда бұл әдістің биотехнологиялық маңызы зор, басқа технологиялармен салыстырғанда экономикалық жағынан тиімді және болашағы бар әдіс болып табылады. Зерттеу жұмысында микроағзаларды қолданып, кальций карбонатын тұндыру арқылы, топырақтың құрылымы нығайтылады. Алайда бұл әдістің тиімсіздігі арнайы стерильді ортаның қажеттілігі болып табылады. Сондықтан топырақты нығайтудың тиімді тәсілі ретінде ферменттік индукцияланған кальций карбонатының тұнбасы (ЕІСР) әдісі құмның ең майда бөлімдіріне еніп, беріктік қасиетін артатындығын көрсету зерттеу жұмысының өзектілігі болып отыр. Алғаш рет ғылымға Брайан Кнорр енгізілген, бірақ, осы әдісті топырақтың инженерлік қасиеттеріне қолдануды технологиясын алғаш рет Немати мен Вур Доу зерттеді. Олар топырақтың борпылдақтық құрылымының тұрақтылығын арттыратын ЕІСР өңдеу әдісін қолдану барысында карбонаттың тұнбасы түзіліп, топырақ бөліктерін біріктіруге қол жеткізуге болатындығын көрсетті[5]. Бұл әдіс химиялық әдістерді қолдануға қарағанда, бірқатар артықшылықтарға ие - улы емес, қоршаған ортаға зиянсыз, қолдануға ыңғайлы[5]. Бұл технологияны қолдану шөлді аймақтарда жиі болатын шаңды дауылдардың пайда болуын азайтады[6]. Осы технологиялар бойынша құмды нығайту үшін, уреаз ферменті мен кальций хлориді және несепнәр қажет. Құмдарға несепнәрді ыдырататын уреаз ферментін синтездейтін бактериялар мен уреаз ферменттері қосылады[8]. Егерде жер бетінде деградациялану, мысалы несепнәрдің ыдырауы сияқты процесстер болмаса жер беті азоттық қалдықтарына толып кетер еді[9]. Бірақ, табиғатта (суда, табиғатта және т.б) несепнәрдің ыдырауын катализдейтін ферменттер бар[10]. Бұл катализатор – уреаз ферменттері болып табылады. Уреаз ферменті несепнәрді аммиак пен көмірқышқыл газына дейін ыдыратады[11]. Ясухара және т.б ғалымдар, ЕІСР ерітіндісімен өңделген Тойура құмының ($d_{50} = 0,20$ мм) механикалық қасиеттерін зерттеу үшін шектеусіз қысу күшіне тексерді. Олар CaCO_3 (см/куб) тұндырмасының, шектеусіз қысу күшінің ең жоғарғы шамасы 1600 кПа өңдеудің 4-8 циклынан кейін қол жеткізді. Карбонаттың тұндырмасының ЕІСР және МІСР ерітінділерімен өңделу барысында, Ньюпан және т.б. ғалымдар кальций карбонатының тұндырмаларының тең дәрежеде біркелкелкі түзілгенін зерттеу барысында көрсетеді. ЕІСР ерітіндісімен өңдеудің тиімділігін арттыру үшін араластырылу, тығыздалу, перколяциялық әдістер қолданылды. Сондай-ақ, кальциттің ұсақ бөлшектірінің ерітіндімен қосылу нәтижесінде карбонаттың тұндырылуына көз жеткіздік және деионизацияланған сумен нығайтылған құм бағаналарын шайғанда, пайда болған өзгерістер зерттелді. Құм бағандарына жасалған лабораториялық зерттеулерге соя бұршағынан алынған уреазалық ферменттер арқылы жасалынып, ал негізгі объектісі үшін Ақтау құмы қолданылды.

Материалдар мен әдістемелер

Соя бұршағының ұнтағынан уреаз ферментін бөліп алу. Соя ұнтағының қажетті концентрациясын дистильденген сумен араластыру арқылы уреаз алынды. Кептірілген майбұршақ *glycine max (L.) Merrill* бұршақтарының дәндерін дезинтегратормен ұнтақталып, өткізілді. 50 г соя ұнтағын 500 литр дистильденген сумен 30 минут бойы араластырды.

Ерітінді магнитті араластырғышпен 6 минут бойы суспензияның біртекті ерітіндісін алғанға дейін араластырылды. Тоңазытқышта 4°C температурада 24 сағат сақтағаннан кейін, майбұршақтың ұнтағының ерітіндісі 15 минут ішінде 3000 айн/мин центрифугадан өткізіліп, жинақталған уреаза ерітіндісі(1 сурет) зерттеу жұмыстарына қолданылды.



Сурет 1-Майбұршақ –Соя-Glycine max (L.) Merrill ұнтағынан бөлініп алынған уреаза ферменті.

Топырақ бағанының ЕІСР ерітіндісімен өңделуі.

Топырақты өңдеу үшін, өңдеуші ерітінді құрамы 1М несепнәр, 0,78 М кальций хлориді, және 4 г/л фермент құм бағансына қосылды. Бұл концентрациялар сынақ бағанында жасалған тәжірибиелер көрсеткендей, жоғары тұндырылу массасын түзуге қабілеттілігін көрсетті. Зерттеу жұмыстарына түссіз,мөлдір жұқа қабырғалы акрильді биіктігі 10 см және диаметрі 5 см (4 "x 2") цилиндр пішінді бағаналар (2сурет) қолданылды.



Сурет 2- Нығайтылған құм бағанының үлгісі

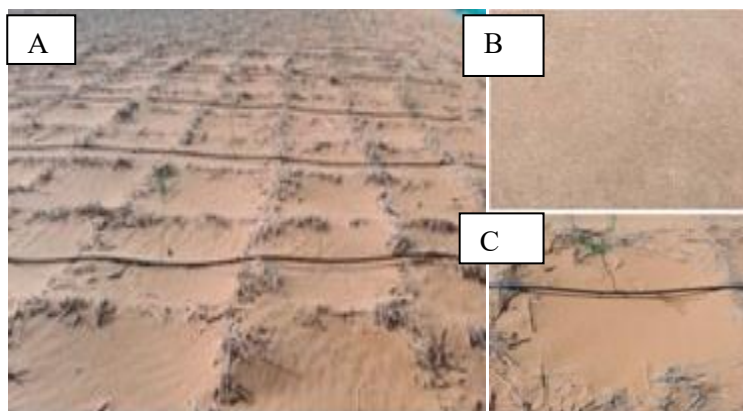
Өңделген үлгілерді алу үшін цилиндр тәрізді бағаналардың ішкі бөлімі полипропиленмен бекітілді. Електен өткізілген Ақтаудың құмы қолданылды. Құмның бастапқы көлемінен азайғаны байқалды және құмда бос кеңістіктер пайда болды. Осы бөліктерді нығайту үшін торырақтың үстінгі бөлігінен механикалық соққылар жасалынып, тығыздалды. Құм бағаналарыерітіндімен өңделініп, араластырылып нығыздалып, әр цикл сайын өңделініп отырды.Дайындалған биоцементтік үлгілер тұндыру арқылы өңделіп, ал цилиндр тәрізді бағаналарда орналасқан құрғақ құм бөліктері тығыздық мөлшері 55%-дық көрсеткіште болды. Содан кейін, құм бағанының жоғарғы бөліміне ЕІСР өңдеу ерітіндісі қосылды, төменгі бөлімі арнайы тығындар арқылы жабылды. Топырақты нығайту үшін, цементтеуші ерітінді бір көлемдік қатынасы қосылып бірінші циклында перколяция арқылы жасалынды.

Құм бағандары дайындау араластырылу және нығыздалу арқылы жасалынды, тығыздық көрсеткіші 55%-дық құрғақ құмдарға 75 мл ЕІСР ерітіндісі қосылды. құмның тығыздық

көрсеткіші 55%-дық шамаға келетін ерітіндіні құм бағанасындағы бөліктеріне сәйкес қосылды. Дайын болған үш үлгілер қосымша өңдеуден өткізілді (2,4 өңдеу циклдарында). Әр өңдеу циклінен кейін барлық үлгілер, 7 күнге бөлме температурасында кептірілді. Құм бағанын кептіру барысында, булану процесі кезінде ерітіндінің концентрациясының азаюынан сақтау үшін, бетін нейлон материалынан жасалған эластикалық лентамен жабамыз. Үлгілер кептірілген соң құм бағанының астыңғы бөлігіне шприцті орналастырамыз. Содан кейін үлгілерге бағанның жоғарғы жағынан бір көлемдік мөлшерде (яғни ~ 75 мл) деионизацияланған су қосылып, ол өңдеу циклінен кейін қосылып, оның құм бағанының төменгі бөлігіне ағып кетуіне мүмкіндік берді. Әр деионизацияланған су қосылғаннан соң, құм бағананың астыңғы бөлігін жабық күйде өңдеуші ерітінді қосылды.

Көлемі шамамен, 2, 3 және 4 өңдеу циклдарында 50 мл, 40 мл және 30 мл. қажетті ерітінді мөлшері құм бағандарының жоғарғы бөлігінің көлеміне сәйкес қосылды. Осы қоспалардың концентрациясы бірдей болды және олар бір сынауықта жасалынды. ЕІСР - ерітіндісінің топырақ бағанының карбонаттың тұндырылу және тығыздалуы сынды механизмдері шекипусіз қысу күшімен тексерілді. Бұл топырақ бағанында, кеңістіктің пайда болуы тұндырылудың дұрыс жүрмеуінен яғни, әрбір цикл сайын ерітінділермен өңдеу кезінде топырақтың бөліктерін дұрыс байланыс жасауын анықтауда қолданылады. Жердің қыртыс қабатын ферменттік өңдеу:

Екі бақылау аумағынан тұратын далалық эксперимент ($10\text{м}^2 + 10\text{м}^2$) құмды дауылдың алдын алуға, ферментпен өңдеудің тиімділігін анықтау үшін сынақтар жүргізілді. Екі сынақ алаңы Қазақстанның батысында орналасқан Ақтау қаласының маңындағы Маңғыстау облысы, Қаракия ауданы Бостанқұм елді мекенінде жасалды. Бұл елді мекендердің географиялық орналасуы Бостанқұм атты құмды жерде болғандықтан тұрғындардың өмір сүруіне көшпелі құм кедергі келтіруде. Желдің әсерінен көшкен құм қоражайларды басып, құлауына дейін алып келуде. Жел эрозиясынан қорғау және ерітіндімен өңдеу мақсатында, арнайы сынақ алаңдарының тақталарында сабаннан тосқауылдар тұрғызылды. Алайда, сынақ алаңдары жел эрозиясынан әсерінен пайда болған құмның бақылау аумағына түспеуін қамтамасыз ету үшін сазды топырақты құммен жабылды. Бақылау аймағындағы арнайы тақталарға шөп көшеттері отырғызылды. Ерітіндінің құрамы 1М несепнәрден, кальций хлоридінен 0,78М (CaCl_2) және 4г/л уреаз ферментінен тұрады. Құмдардың бетіне ерітінді арнайы бүріккіш құралдармен себілді. Өңдеу ерітінділері сынақ учаскелеріне 4 күндік циклдің (№1, 2, 3 және 4 цикл күндері) күніне 5 реттік қайталаумен қатарынан 20 рет (3 сурет) өңделді.



Сурет 3 - Ферменттік ерітіндімен өңделген сынақ аймағы
 А) Бақылау алмағы В) Ерітіндімен өңделмеген бақылау аймағы
 С) Ерітіндімен өңделген бақылау аймағы

Нәтижелермен талқылаулар

Араластыру және перколяция (тұндырылу) арқылы жасалған бастапқы салыстырмалы тығыздығы шамамен 55% болатын үлгілерде акрильді құм бағанынан үлгілерді цилиндрлерінен экструдтау кезінде зақымдалмайтындай цементтенуі жеткіліксіз болды, бұл

тұндырылу арқылы өңделген бастапқы салыстырмалы тығыздығы 55% үлгілер акрильді құм бағанынан алынған кезде өзгеріссіз қалды(4 суретте) берілген.

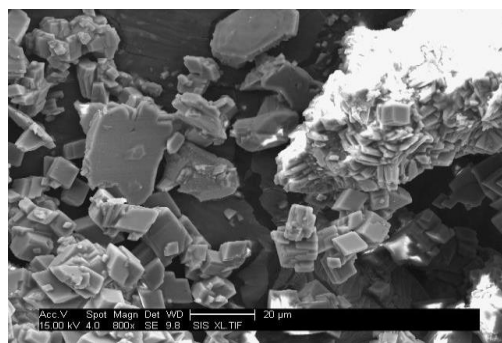


Сурет 4-Араластыру және тығыздалу (сол жақта) және перколяция (тұндырылу) әдістерімен дайындалған ЕІСР ерітіндісімен өңделген үлгілер (оң жақта).

Тұндырылу массасы артуының әсерінен нығайтылған құмдарда саңылаудың көлемінің азаюынан және әр өңдеуден кейін үлгіде қалған ерітіндінің болуына байланысты бірінші өңдеу циклімен салыстырғанда, ерітінді аз мөлшерде қосылды. Соңғы өңдеу циклінен кейін үлгілер 65 мл деионизацияланған су қосылып, тұрақты массасы қалыптасқанша, 45°C температурада пеште кептірілді. Түзілген кальций карбонатының құм бағанына тұндырылуының кристаллизациясының түзу әсері:

Кальций карбонаты аморфты (яғни кристалды емес фаза) және бес түрлі кристалды фазада (кальцит, арагонит, ватерит, моногидрокальцит және икаит полиморфты, тұрақты пішінінің төмендеуімен) көрінуі мүмкін. Ромбоэдрикалық кальцит термодинамикалық тұрақтылығына байланысты геотехникада қолдану үшін, ең қажетті полиморф болып табылады. Біртекті субстракт түзетін тұндыратын ерітіндіні қосу арқылы кальцит кристалдары пайда болып, шамадан тыс құм бағанына сіңірілуінен тежейді. Сондықтан тұндырылу минерализациясының әсерін зерттеу үшін жуық шамамен мөлшері ≤ 37 мкм болатын кальциттің түйіршіктерін сынақ бағанына салынды. Карбонаттың тұндыруының құрылымы мен морфологиясының көрінісі үшін сканерлеуші электронды микроскопия (СЭМ) қолданылды. Құмбағанының нығайтылу дәрежесінің тиімділігінің артуына 75% және 93%-дық араластырылу және нығайтылу арқылы бір циклдық өңдеумен жасалуы да әсер етеді. Осы аталған әдістер негізінде карбонаттар тұндырылу массасы әрбір өңдеу циклінің санына байланысты, артып отырды.

Сканнерлеуші электронды микроскоп (СЭМ) арқылы түсірілген ерітіндімен өңделмеген, деформацияланған кальций карбонатының тұндырылуы берілген (Сурет.5а). Ал ерітінді арқылы өңделген агломерленген ромбоэдрлік кальциттің тұндырылуының кристалдары бір-бірімен тығыз байланысып, пішіні тұрақтылығы көрсетілген (Сурет.5б).



Сурет.5а -Деформацияланған кальций

Сурет.5б- Деформацияланбаған кальций

карбонатының тұнбасының көрінісі

карбонатының тұнбасының көрінісі

Бұл ЕІСР ерітіндісімен өңдеу нәтижесінде ромбоэдрикалық кальциттің тұндырылуы, кезінде құрамында кальцит бар топырақта ықтимал екенін көрсетеді, дегенмен магний иондары мен органикалық қосылыстар сияқты ингибиторлық заттардың болуы кальций кристалдарының түзілуін тежеу мүмкін. Сонымен қатар, ерітіндімен өңделген кальцит кристалдарының мөлшері ерітіндімен өңделмеген кальцит кристалдарына ұсақ болды. Жер қыртысының ферменттік ерітіндімен өңдеу нәтижелері. Ерітіндімен өңделмеген бақылау аймағының визуальды көрінісі ерітіндімен өңделген бақылау аймағына қарағанда ақшыл түсті болды. Кальций карбонатының, эрозияға ұшыраған құмдардың бөлігінің аралығы мен оның беткі бөлімінде тұндырылуына байланысты ақшыл түске өзгереді. Ферменттік өңдеуден бұрын өсімдіктердің өсуі үшін тамшылатып суару жүргізілді, осылайша ферментпен өңделген бақылау аймағында өңделмеген бақылау аймағына қарағанда судың мөлшері жоғары болды. Ферментпен өңдеудің барысында құмтасты жер қыртысы биологиялық өңделген сынақ учаскелерінде байқалды. Жер қыртысының қалыңдығын анықтау үшін, цементтелген топырақтар сынақ алаңынан физикалық түрде шығарылды материал нығайтылғанша яғни, бұзылысқа ұшырамағанша өңделді. б(а) Суретте көрсетілгендей нығайтылған топырақ.



Сурет 6а-Сынақ алаңындағы цементтелген құмның қалыңдығы

Сынақ учаскелерінде цементтелген қыртыстардың болуы жер бедерінің нығайғанын көрсетеді. Бұл цементтелген қыртыстардың қалай пайда болғаны белгісіз болды әдетте бұл бақылау аймағында қатты жел мен тұндырылуы бірге жүретіндігінен қарастырылады. Сынақ алаңдарының эрозияға төзімділігін визуальды бағалау үшін су ағынының эрозиясына бақылау жүргізілді. Ерітіндімен өңделмеген сынақ аймағындағы құм айтарлықтай дәрежеде эрозияға ұшырады. Су эрозиясына ұшырау барысында (1 минут аралығында суды құмға құю арқылы) соның нәтижесінде құмның ығысып орнын ауыстырылуына, ол құмның саңылауының пайда болуына және құмның борпылдақ күйіне әкеледі. Ерітіндімен өңделген бақылау аймағы қатты кристалл қабаты су эрозиясына төзімді болды, дегенмен, жер қыртысының беттік бөлігінде нүктелік әлсіз эрозияға ұшырауы байқалды. Су ағынының әсерінен эрозиясының әсерінен өңделмеген және өңделген топырақ бетінің морфологиялық көрінісі б(Б) және б(С) суреттерде көрсетілген.



Сурет 6б - Ферментпен өңделмеген жер қыртысының көрінісі **Сурет 6с** - Ферментпен өңделген жер қыртысының көрінісі

Қорытынды

Кальций хлориді, несепнәр және уреаз ферментінің әртүрлі концентрацияларында тұндырылуы мен тұндырылу массаларының қатынасына жүйелі бағалау жүргізілді. Құрамында 1М несепнәр, 0,78М CaCl және 4 г/л уреаз (уреазалық ортаға белсенділігі 3600 бірлік/г) ферментінен құралған ЕІСР ерітіндісі ферменттік әдісі ретінде қолдануығни жоғары тұндыру массасы үшін де, жоғары тұндыруға да тиімділігіменде анықталды. ЕІСР ерітіндісінде кальцит түйіршіктерінің болуы тұндырылу морфологиясын жақсартатындығы көрсетілді. Араластыру және перколяция арқылы жасалған, бастапқы салыстырмалы тығыздығы 55% болатын Ақтау құмының бағандарының ЕІСР ерітіндісімен өңдеу үшін матрицадан шығарылғаннан кейін бағанның тұтастығын сақтау үшін құм бөлшектерінің арасындағы берік байланыс орнап, кристалл түзетін цементтенуі жүрмейтіндігіне әкелді. Бастапқы салыстырмалы тығыздығы 55% болатын тұндырылу арқылы жасалған құм бағанының, оның барлық бөлігінде берік байланыстардың нәтижесінен акрильді құм бағанынан алынған үлгілер деформацияға ұшырамады. ЕІСР арқылы өңдеген топырақтың беріктігіне тек тұндырылу механизмі ғана емес, сонымен қатар топырақты нығайтудың әдістемесіне немесе биоцементтік үлгілерді дайындау технологиясына және құм бөліктерінің дұрыс байланыс орнауыда байланысты [13]. Осы зерттеуде ұсынылған өңдеу әдісі жел эрозиясын тиімді бақылауға және жауын-шашынның эрозияға төзімділігін жақсартуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, ферменттік өңдеу мен шөп тұқымын себу экологиялық үйлесімде болып, шөлейттенуді азайтуды қамтамасыз етеді. Бұл зерттеу бойынша ферментпен өңделген сынақ аймағынан алынған нәтижелер шөлейттенуді азайтуға болатындығын көрсетті.

ЕІСР арқылы өңдеген топырақтың деионизацияланған сумен жуылуы нәтижесінде, топырақтың арасындағы берік байланысты ажырататындығы дәлелденді. Сканерлеуші электронды микроскоппен көрсетілгендей, үлгілерде беріктік қасиетінің жойылуы, нығайтылған топырақтағы органикалық заттардың шайылуынан және ерітінділер арқылы өңделген топырақта аммоний хлориді тұздарының тұнбасынан туындауынан болатындығы көрсетілді.

Әдебиеттер тізімі

1. Han,Z.,Wang,T., Dong,Z., Hu, Y., Yao, Z..Chemical stabilization of mobile dunefields along a highway in the Taklimakan Desert of China.,- 2007,J Arid Environ Vol. 68, pp.260–270.<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.05.007>
2. Acting locally cooperating regionally. Combating desertification in Central Asia//Published by: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH –German Technical Cooperation.- 2007, Vol.20.
- 3.Ассанова, М. А. (2015). Public policy and model of sustainable development in the Republic of Kazakhstan. Asian Social Science, 11(6), 237. <https://doi.10.5539/ass.v11n6p237>

4. Knorr, B., Enzyme-induced carbonate precipitation for the mitigation of fugitive dust. Masters Thesis, Arizona State University, Tempe, AZ, USA, 2014.
5. Nemati, M., G. Voordouw. Modification of porous media permeability, using calcium carbonate produced enzymatically in situ, *Enzyme Microb. Technol.*, 2003, Vol. 33 pp. 635–642. [https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(03\)00191-1](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(03)00191-1)
6. Maleki, M., S. Ebrahimi, F. Asadzadeh, M. Emam Tabrizi. Performance of microbial-induced carbonate precipitation on wind erosion control of sandy soil. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 2016, Vol. 13 pp. 937–944. <http://dx.doi.org/10.1007/s13762-015-0921-z>
7. Yasuhara, H., Hayashi, K.M., Okamura. Evolution in mechanical and hydraulic properties of calcite-cemented sand mediated by biocatalyst, *Geo-Frontiers Advances, Geotechnical Engineering*, -2011, pp. 3984–3992. [https://doi.org/10.1061/41165\(397\)407](https://doi.org/10.1061/41165(397)407)
8. Yasuhara, H., Neupane, D.K., Hayashi, M., Okamura. Experiments and predictions of physical properties of sand cemented by enzymatically-induced carbonate precipitation, *Soils Found.*, 2012, Vol. 52(3) pp. 539–549. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2012.05.011>
9. Neupane, D., Yasuhara, H., Kinoshita, N., Putra, H. Distribution of grout material within 1-m sand column in insitu calcite precipitation technique, *Soils Found.*, 2015, pp. 1512–1518. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2015.10.015>
10. Choi, S.G., Chang, I., Lee, M., Lee, J.-H.; Han, J.-T.; Kwon, T.-H. Review on Geotechnical Engineering Properties of Sands Treated by Microbially Induced Calcium Carbonate Precipitation (MICP) and Biopolymers. *Constr. Build. Mater.* 2020, 246, 118415. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118415>
11. Almajed, A., Abbas, H., Arab, M., Alsabhan, A., Hamid, W., Al-Salloum, Y. Enzyme-Induced Carbonate Precipitation (EICP)-Based Methods for Ecofriendly Stabilization of Different Types of Natural Sands. *J. Clean. Prod.* 2020, P. 274, 122627. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122627>
12. Miftah, A., Tirkolaei, H.K., Bilsel, H. Bio-Precipitation of CaCO₃ for Soil Improvement: A Review. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 2020, P. 800, 012037 DOI 10.1088/1757-899X/800/1/012037
13. Almajed, A.A. Enzyme Induced Carbonate Precipitation (EICP) for Soil Improvement. Ph.D. Thesis, Arizona State University, Phoenix, AZ, USA, 2017.
14. Gupta, R., Kienzler, K., Martius, C., Mirzabaev, A., Oweis, T., dePauw, E., Qadir, M., Shideed, K., Sommer, R., Thomas, R., Sayre, K., Carli, C., Saparov, A., Bekenov, M., Sanginov, S., Nepesov, M., and Ikramov, R. Research prospectus: a vision for sustainable land management research in Central Asia. // *Sustainable Agriculture in Central Asia and the Caucasus*, -2009, P. 81.
15. Pratama, G.B., Yasuhara, H., Kinoshita, N., Putra, H. Application of Soybean Powder as Urease Enzyme Replacement on EICP Method for Soil Improvement Technique. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 2021, P. 622. 012035 DOI: 10.1088/1755-1315/622/1/012035
16. Putra, H., Yasuhara, H., and Kinoshita, N. "Applicability of Natural Zeolite for NH₄-Forms Removal in Enzyme-Mediated Calcite Precipitation Technique". -2017. *Geosciences*, 7(3), P. 61.
17. Putra, H., Yasuhara, H., Kinoshita, N., Neupane, D., Lu, C.W. "Effect of Magnesium as Substitute Material in Enzyme-Mediated Calcite Precipitation for Soil-Improvement Technique" *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, -2016. "V. 4, Article 37. <http://dx.doi.org/10.3389/fbioe.2016.00037>
18. Putra, H., Yasuhara, H., Kinoshita and Hirata, A. "Optimization of Enzyme-Mediated Calcite Precipitation as a Soil-Improvement Technique The Effect of Aragonite and Gypsum on the Mechanical Properties of Treated Sand." *Crystals* 2017, 7(59)
19. Zhao, Z., Hamdan, N., Shen, L., Nan, H., Almajed, A., Kavazanjian, E., He, X. "Biomimetic Hydrogel Composites for Soil Stabilization and Contaminant Mitigation". *Environmental Science & Technology*, -2016. 50(22), 12401-12410.59

References

1. Han,Z.,Wang, T., Dong,Z., Hu, Y., Yao, Z.. Chemical stabilization of mobile dunefields along a highway in the Taklimakan Desert of China.,- 2007,J Arid Environ Vol. 68, pp.260–270. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.05.007>
2. Acting locally cooperating regionally. Combating desertification in Central Asia//Published by: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH –German Technical Cooperation.- 2007, Vol.20.
3. Assanova, M. A. (2015). Public policy and model of sustainable development in the Republic of Kazakhstan. Asian Social Science, 11(6), 237. <https://doi.org/10.5539/ass.v11n6p237>
- 4.Knorr, B., Enzyme-induced carbonate precipitation for the mitigation of fugitive dust. Masters Thesis, Arizona State University, Tempe, AZ, USA, 2014
- 5.Nemati,M,G. Voordouw. Modification of porous media permeability, using calcium carbonate produced enzymatically in situ, Enzyme Microb. Technol,-2003, Vol.33 pp.635–642. [https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(03\)00191-1](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(03)00191-1)
6. Maleki, M,S, Ebrahimi F, Asadzadeh, M. Emam Tabrizi Performance of microbial-induced carbonate precipitation on wind erosion control of sandy soilInt. J. Environ. Sci. Technol,-2016,Vol.13 pp. 937–944. <http://dx.doi.org/10.1007/s13762-015-0921-z>
- 7.Yasuhara,H., Hayashi KM, Okamura. Evolution in mechanical and hydraulic properties of calcite-cemented sand mediated by biocatalyst, Geo-FrontiersAdvances, Geotechnical Engineering, -2011, pp.3984–3992. [https://doi.org/10.1061/41165\(397\)407](https://doi.org/10.1061/41165(397)407)
- 8.Yasuhara,H., Neupane D.K, Hayashi.M, Okamura. Experiments and predictions of physical properties of sand cemented by enzymatically-induced carbonate precipitation,Soils Found,-2012.Vol.52(3) pp.539–549. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2012.05.011>
- 9.Neupane,D., Yasuhara.H, Kinoshita.N, Putra,H. Distribution of grout material within 1-m sand column in insitu calcite precipitation technique, Soils Found,-2015, pp.1512–1518. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2015.10.015>
- 10.Choi,S.G, Chang,I, Lee.M, Lee. J.-H.; Han, J.-T.; Kwon, T.-H. Review on Geotechnical Engineering Properties of Sands Treatedby Microbially Induced Calcium Carbonate Precipitation (MICP) and Biopolymers. Constr. Build. Mater. 2020, 246, 118415. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118415>
- 11.Almajed,A., Abbas,H., Arab,M., Alsabhan,A., Hamid,W., Al-Salloum,Y. Enzyme-Induced Carbonate Precipitation (EICP)-Based Methods for Ecofriendly Stabilization of Different Types of Natural Sands. J.Clean. Prod.-2020, P.274, 122627. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122627>
- 12.Miftah, A., Tirkolaei,H.K., Bilsel,H. Bio-Precipitation of CaCO₃ for Soil Improvement: A Review IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.2020, P.800, 012037 DOI 10.1088/1757-899X/800/1/012037
- 13.Almajed, A.A. Enzyme Induced Carbonate Precipitation (EICP) for Soil Improvement. Ph.D. Thesis, Arizona State University,Phoenix, AZ, USA, 2017.
- 14.Gupta,R., Kienzler,K., Martius,C., Mirzabaev,A., Oweis,T., dePauw,E., Qadir,M., Shideed,K., Sommer,R., Thomas,R., Sayre,K., Carli,C., Saparov,A., Bekenov,M., Sanginov,S., Nepesov,M., and Ikramov,R. Research prospectus: a vision for sustainable land management research in Central Asia. //Sustainable Agriculture in Central Asia and the Caucasus,-2009, P. 81.
- 15.Pratama,G.B, Yasuhara,H., Kinoshita,N., Putra,H. Application of Soybean Powder as Urease Enzyme Replacement on EICP Method for Soil Improvement Technique. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci,2021, P.622. 012035 DOI: 10.1088/1755-1315/622/1/012035
- 16.Putra,H.,Yasuhara,H.,andKinoshita,N."Applicability of Natural Zeolite for NH₄-FormsRemoval in Enzyme-Mediated Calcite Precipitation Technique". -2017.Geosciences, 7(3),P.61.
- 17.Putra,H.,Yasuhara,H.,Kinoshita,N.,Neupane,D.,Lu,C.W. "EffectofMagnesium as Substitute Materialin Enzyme-Mediated Calcite Precipitation for Soil-Improvement Technique".Frontiers in Bioengineering and Biotechnology,-2016."V.4,Article37. <http://dx.doi.org/10.3389/fbioe.2016.00037>

18. Putra, H., Yasuhara, H., Kinoshita, and Hirata, A. "Optimization of Enzyme-Mediated Calcite Precipitation as a Soil-Improvement Technique The Effect of Aragonite and Gypsum on the Mechanical Properties of Treated Sand." *Crystals* 2017, 7(59)

19. Zhao, Z., Hamdan, N., Shen, L., Nan, H., Almajed, A., Kavazanjian, E., He, X. "Biomimetic Hydrogel Composites for Soil Stabilization and Contaminant Mitigation". *Environmental Science & Technology*, -2016. 50(22), 12401-12410.59.

*М.Е. Даулетқұл¹, З.Б. Тұңғышбаева¹, У.Янкiewicz², Ә.Қ. Қыдырбаева³,
А.Турсынханқызы⁴*

¹Казахский национальный педагогический университет имени Абая г. Алматы, Казахстан (e-mail: Dauletkul_meirzhan@mail.ru)

²Варшавский университет естественных наук г. Варшава, Польша (urszula_jankiewicz@sggw.edu.pl)

³Казахский национальный медицинский университет имени С.Д. Асфендиярова г. Алматы, Казахстан (asem.kudyrbaeva@mail.ru)

⁴Казахстанско-Российский медицинский университет г. Алматы, Казахстан (maira@mail.ru)

УКРЕПЛЕНИЕ ПЕСКОВ И ДЕГРАЛИРОВАННЫХ ПОЧВ ПУТЕМ ОСАЖДЕНИЯ ФЕРМЕНТАТИВНО ИНДУЦИРОВАННОГО КАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ДЕГРАДАЦИИ И ОПУСТЫНИВАНИЯ

Аннотация

В данной работе были проведены исследования по определению эффективности укрепления структуры деградированной почвы с помощью раствора EICP (Enzymatic Induced Calcite Precipitation), то есть метода ферментативно-индуцированного осаждения карбоната кальция. В сельском хозяйстве использовался для укрепления песка в пустынной зоне. Песчаные бури относятся к стихийным бедствиям в мире, и важно предоставить эффективный и экологически чистый способ борьбы с опустыниванием земель. В основе биогеотехнического метода лежит образование карбоната кальция (CaCO₃) путем каталитического гидролиза мочевины с использованием фермента уреазы. Раствор EICP содержит 1М мочевины, 0,78М хлорид кальция (CaCl₂) и фермент уреазы концентрацией 4 г/л. В результате обработки этим раствором образовались кристаллы, соединяющие частицы песка между собой, в процессе образования карбонатного осаждения снижается проницаемость почвы, обеспечивая прочностные свойства почвы. Однако это требует больших затрат из-за необходимости большого количества фермента уреазы, используемого для изготовления раствора, созданного на основе метода. Только сам фермент составляет более 95% затрат на приготовление раствора. Поэтому для дальнейшего совершенствования исследовательской работы необходимо найти природный материал, заменяющий фермент уреазы. Наличие экологической совместимости семян травянистых растений и методов ферментной обработки показало эффективность снижения опустынивания. Обработка показала значительное улучшение устойчивости как к ветровой эрозии, так и к осадкам в результате обработки, что обеспечивает эффективный способ предотвратить опустынивание.

В этом исследовании фермент был выделен из соевых бобов Glycine max (L.) Merrill как натуральный сырьевой продукт, заменяющий фермент уреазы. Почва (Актауский песок) была обработана раствором EICP, благодаря активности ферментов, получена высокая степень осаждения карбоната. Кроме того, было обнаружено, что мочевины и хлорид кальция выделяются из сточных вод, образующихся в процессе обработки почвы ферментативно-индуцированным раствором карбоната кальция, но уреазные ферменты не содержатся в этих сточных водах. Фермент реагирует с мочевиной и карбонатом кальция, содержащимися в почве, с осаждением карбоната кальция и образованием связей между частицами почвы.

Образующиеся кристаллы карбоната кальция укрепляют участки почвы, превращая ее из рыхлого в уплотненное состояние.

Прочность полученных образцов были исследованы под сканирующим электронным микроскопом.

Ключевые слова: Биогеотехника, почва, укрепление, биоцемент, EICP.

**M.E. Dauletkul¹, Z.B. Tungyshbaeva¹, U.Jankiewicz², A.K. Kydyrbaeva³,
A. Tursynkhankyzy⁴**

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

(e-mail: Dauletkul_meirzhan@mail.ru)

²Warsaw university of life sciences, Warsaw, Poland (e-mail: urszula_jankiewicz@sggw.edu.pl)

³Asfendiyarov Kazakh National Medical University, Almaty, Kazakhstan (e-mail: asem.kydyrbaeva@mail.ru)

⁴Kazakh-Russian medical university, Almaty, Kazakhstan (e-mail: maira@mail.ru)

STRENGTHENING OF SANDS AND DEGRADED SOILS BY PRECIPITATION OF ENZYMATICALLY INDUCED CALCIUM CARBONATE TO PROTECT AGAINST DEGRADATION AND DESERTIFICATION

Abstract

In this work, studies were conducted to determine the effectiveness of strengthening the structure of degraded soil using an EICP (Enzymatic Induced Calcite Precipitation) solution, that is, the method of enzymatically induced precipitation of calcium carbonate. In agriculture, it was used to strengthen sand in the desert zone. Sandstorms are among the natural disasters in the world, and it is important to provide an effective and environmentally friendly way to combat land desertification. The biogeotechnical method is based on the formation of calcium carbonate (CaCO_3) by catalytic hydrolysis of urea using the urease enzyme. The solution contains 1M urea, 0.78M calcium chloride (CaCl_2) and the enzyme urease with a concentration of 4 g/l. As a result of treatment with this solution, crystals were formed connecting sand particles to each other, during the formation of carbonate deposition, soil permeability decreases, ensuring the strength properties of the soil. However, this is costly due to the need for a large amount of the urease enzyme used to make the solution created based on the method. The enzyme alone accounts for more than 95% of the cost of preparing the solution. Therefore, in order to further improve the research work, it is necessary to find a natural material that replaces the enzyme urease. The presence of ecological compatibility of herbaceous plant seeds and enzyme treatment methods has shown the effectiveness of reducing desertification. The treatment has shown a significant improvement in resistance to both wind erosion and precipitation as a result of the treatment, which provides an effective way to prevent desertification.

In this study, the enzyme was isolated from soybeans *Glycine max* (L.) Merrill as a natural raw material product replacing the enzyme urease. The soil (Aktau sand) was treated with EICP solution, due to the activity of enzymes, a high degree of carbonate precipitation was obtained. In addition, it was found that urea and calcium chloride are excreted from wastewater generated during tillage with an enzymatically induced calcium carbonate solution, but urease enzymes are not contained in these wastewater. The enzyme reacts with urea and calcium carbonate contained in the soil, precipitating calcium carbonate and forming bonds between soil particles. The resulting calcium carbonate crystals strengthen the soil layers, turning it from a loose to a compacted state.

The strength of the obtained samples was examined under a scanning electron microscope

Keywords: Biogeotechnics, soil, reinforcement, biocement, EICP.