

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2025-3-94-102>

УДК 547.458

АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ ҚАЛДЫҚТАН МИКРОКРИСТАЛДЫ ЦЕЛЛЮЛОЗА АЛУ ЖӘНЕ ОНЫҢ НЕГІЗІНДЕ ГЕЛЬ-ПЛЕНКАЛАР ДАЙЫНДАУ

М. К. Шамшиденов¹, Е. А. Алтынов¹, Б. У Рахимова²,
Қ. Бексейтова^{1,3}, А. Сейтхан¹, К. К. Кудайберген^{1*}

¹ Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Қазақстан

² Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

³ Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

* Байланыс үшін E-mail: k.kudaibergenov@satbayev.university

Бұл жұмыста биомассада лигнинді жою арқылы микрокристалды целлюлозаны алу процесі және оның қасиеттері зерттеледі. Биомасса ретінде ауылшаруашылық қалдық болып табылатын күріш қауызы қолданылды. Микрокристалды целлюлоза (МКЦ) шығымына биомасса мен пероксиді қышқылының қатынастарының әсері анықталды. Күріш қауызынан алынған микрокристалды целлюлоза шығымы 1/14 қатынаста 70% құрады. Сонымен қатар, натрий альгинатымен бірге күріш МКЦ негізінде гель-пленкалар дайындалып, олардың гидролитикалық ыдырау қасиеттері зерттелді. Гель-пленканың қышқыл ортада (рН 4,08) 7 күн ішінде 66% дейін масса жоғалтуы тіркеліп, бұл олардың рН-сезімталдығын және биологиялық ыдырағыштығын дәлелдеді.

Үлгілердің бетінің морфологиясы, орташа бөлшек өлшемі және құрылымы зерттелді. Үлгілер бетінің морфологиясы сканерлеуші электронды микроскоп көмегімен зерттеліп, бөлшектердің орташа өлшемі 7–10 мкм екендігі анықталды. РФА материалдың аморфты-кристалдық құрылымға ие екенін көрсетті. ИҚ спектроскопиясы гидроксил, карбонил және эфирлік топтардың бар екенін растады. ТГА термоанализ нәтижелері гель-пленканың термиялық тұрақтылығын көрсетті.

Биомассада микрокристалды целлюлозаны алу үшін ұсынылған әдіс дәстүрлі әдістермен салыстырғанда көп сатылы өңдеуді қажет етпейді және қоршаған ортаға қауіпсіз. Күкірт пен хлорды, жоғары қысымды және көп суды қажет ететін реагенттерді қолданбай, бір сатыда сапалы микрокристалды целлюлозаны алуға болатыны көрсетілді.

Микрокристалды целлюлозаға деген қызығушылық оның бірегей қасиеттеріне байланысты, яғни жеңілдігіне, уыттылығы жоқтығына, биоүйлесімділігіне және биологиялық ыдырауына байланысты қазіргі таңда аэрогель, гель, биокомпозиттер, биологиялық ыдырайтын материалдар, пленкалар өндірісінде үлкен сұранысқа ие.

Түйін сөздер: микрокристалды целлюлоза, ауылшаруашылық қалдықтары, пероксиді қышқылы, биомасса, күріш қауызы, гель-пленка.

КІРІСПЕ

Ауыл шаруашылығы өндірісінің нәтижесінде жыл сайын үлкен көлемде өсімдік текті қалдықтар – сабан, жапырақ, қауыз түріндегі биомасса түзіледі. Бұл қалдықтардың экожүйеге шамадан тыс жиналуы ауаның ластануы мен топырақтың тозуы сияқты экологиялық мәселелерге әкеледі. Мысалы, күріш қауызы сияқты қалдықтарды өртеу барысында көміртек оксиді, аммиак, азот және күкірт оксидтері мен ұшқыш органикалық қосылыстар бөлінеді [1–2].

Аталған қалдықтар құрамы бойынша целлюлозаға бай, әрі бағалы биополимерлердің көзі бола алады. Сондықтан ауылшаруашылық биомассасынан микрокристалды целлюлоза сияқты өнімдерді алу – қалдықтарды қайта өңдеудің тиімді әрі экологиялық жолы болып табылады.

МКЦ – жоғары кристалдылыққа ие, экологиялық қауіпсіз, биоыдырайтын материал ретінде көптеген салаларда, соның ішінде фармацевтикада, тағам және биомедицинада кеңінен қолданылады. Соңғы жылдары целлюлоза және оның туындыларына негізделген гидроксельдер жарақатты емдеу материалдары ретінде ерекше қызығушылық тудырып отыр.

Мысалы, күйік жарақаттары бүкіл әлемде кең таралған проблема болып табылады. Жыл сайын 11 миллионнан астам адам ауыр күйікке шалдығып, оның 300 000-нан астамы өліммен аяқталады [3]. Мұндай жағдайда жара бетіне жұмсақ, ылғал реттейтін және биосәйкес келетін таңғыш материалдар қажет. Осы орайда, целлюлоза, альгинат, желатин, коллаген сияқты табиғи полимерлерден дайындалған гибриды-гельдік жүйелер – перспективалы шешімдердің бірі [4–5].

Алайда дәстүрлі әдістермен алынатын целлюлоза хлоры бар реагенттер мен жоғары қысымды қажет етеді, бұл процесті экологиялық және экономикалық тұрғыдан тиімсіз етеді [6–11]. Соңғы зерттеулер органикалық тотығу және органосольвентті экстракция әдістері арқылы экологиялық қауіпсіз, бір сатылы және жұмсақ өңдеу жолдарын ұсынады [12–15].

Соңғы жылдары микрокристалды целлюлозаны басқа биополимерлермен (мысалы, альгинат натриймен) біріктіру арқылы жарақаттарды емдеуге арналған гибриды-гельдік пленкалар алу бағытында зерттеулер күшейіп келеді. Мұндай гель-пленкалар биологиялық ыдырағыштығы, су сіңіру қабілеті және

құрылымдық беріктігі арқасында дәстүрлі таңғыш материалдарға қарағанда анағұрлым тиімді [16–18]. Осы орайда, ауылшаруашылық қалдықтары – күріш қауызын шикізат ретінде пайдалана отырып, пероксисірке қышқылы негізіндегі целлюлоза алу, алынған МКЦ-ны альгинатпен біріктіре отырып, биомедициналық мақсаттағы экологиялық таза гель-пенка алу. Алынған өнімдердің морфологиялық, құрылымдық, термиялық және гидролитикалық қасиеттерін кешенді зерттеу мақсаты қойылды.

НЕГІЗГІ БӨЛІК

Қолданылған материалдар: күріш қауызы, гексан (C_6H_{14}) 99%, сірке қышқылы (CH_3COOH) 58%, сутегі асқын тотығы (H_2O_2) 15%, күкірт қышқылы (H_2SO_4) 99%, сүзгі қағазы (MEM СТ 12026-76), дистилденген су (MEM СТ 6709-72) (H_2O), натрий альгинаты.

БМ-ды ұсақтау үшін диірмен көмегімен 20 минут механикалық түрде өңделді. Материалдың шамамен 1,8% ұнтақтау процесінде жоғалады.

Биомассаны ұнтақталғаннан кейін ол гексанның көмегімен тазартылады. Ол үшін биомасса ұнтағы фильтрлік қағазға салынып, содан кейін ол Сокслет экстракторға салынды. Экстракторлық колбаға 200 мл гексан қойылып, колба шамамен 150 °C температураға дейін қыздырылды. Колбадағы заттың араласуын қамтамасыз ету үшін магнитті араластырғыш қолданылды. Жуу процесі екі сағат бойы жүргізілді. Жуу аяқталғаннан кейін алынған материал экстрактордан алынып, кейіннен кептіру үшін кептіргіште ұсталды. (Сурет 1).

Биомасса ұнтағы пероксисірке қышқылы мен өңделіп МКЦ алынды. Сірке қышқылының қажетті көлемін цилиндрмен өлшеп, көлемі 500 мл колбаға құйылды. Үстіне қажетті мөлшерде күрт қышқылы қосылды. Алынған қоспаға сутегі асқын тотығының

қажетті көлемі бюреткадан тамшылата отырып, қосылды. Дайын болған қоспаны араластырып, бөлме температурасында 24 сағатқа қалдырады (Сурет 2).

20 г күріш қауызына сәйкесінше 240 мл, 280 мл және 320 мл пероксисірке қышқылы ерітіндісі қосылды (1/12, 1/14, 1/16 қатынасы). Әр өңдеу 150 °C температурада 3 сағат жүргізілді.

МКЦ шығымы келесі формуламен анықталады:

$$\text{Шығымы} = \frac{m}{m_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

мұндағы m_0 – биомассаның массасы, мас.%; m – МКЦ массасы, мас. %.

Күріш қауызынан алынған МКЦ пен альгинат (Ат) негізінде гибриді гельдер дайындалады. Пленка-гель дайындау үшін алдын ала есептелген мөлшердегі альгинат 3% сірке қышқылының ерітіндісінде ерітіледі. Осы ерітіндіге белгілі көлемдегі МКЦ дисперсиясы қосылып, біртекті араласу үшін 1–2 сағат бойы орташа жылдамдықпен араластырылады. Алынған қоспа Петри табақшаларына құйылып, 60–70 °C температурада электрлі пешінде 5–6 сағат бойы кептіріледі. Соңында пленка табақшадан алынып, әрі қарай қолдану үшін контейнерде сақталады.

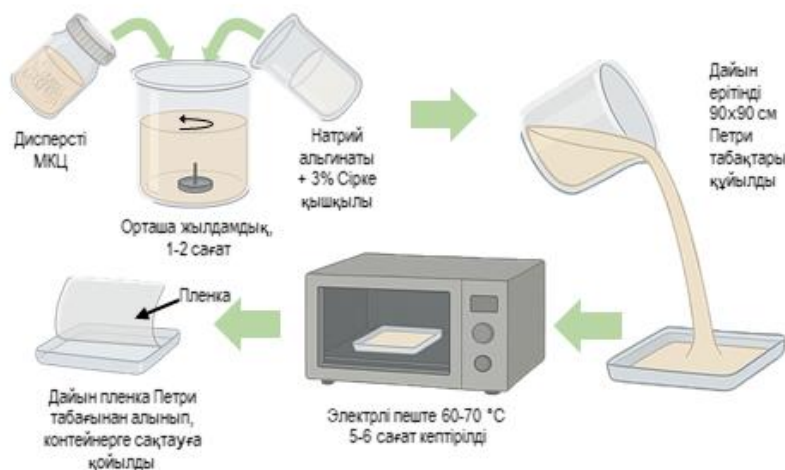
Үлгілерінің беткі морфологиясын зерттеу үдеткіш кернеуі 0,2–30 кВ-та 12 нм ажыратымдылығы және вольфрамдық катодты микроскопы бар энерго-дисперсиялық анализатор (EDAX) қосымша қондырғысы бар және электронды жинау бұрышы айнымалы, үдеткіш кернеуі 30 кВ-та екіншілік электрондарда 4 нм ажыратымдылығы бар STEM (SED, LF-GSED және GSED) детекторымен жабдықталған Quanta 3D 200i сканерлеуші электронды микроскоп (СЭМ) (Ametek Inc., АҚШ) арқылы зерттелді.



Сурет 1. БМ-ды ұнтақтау және гексанмен шаяу процестер



Сурет 2. Биомассаны ПСК-мен өңдеу процесі



Сурет 3. Гель-пленка алу процесі

Рентгендік фазалық талдау DRON-3М рентгендік дифрактометрінде жүргізілді. Зерттеу 30 кВ үдеткіш кернеуінде, мыс катоды қолданылып, жүргізілді. Деректер 5–50° бұрыштық диапазонда, 2°/мин сканерлеу жылдамдығымен тіркелді. Үлгілер ұсақ ұнтақ түрінде дайындалып, вазелинмен жабылған шыны пластиналарға орналастырылды.

Күріш целлюлозасынан алынған гель-пленканың термиялық тұрақтылығы мен химиялық құрылымы термогравиметриялық талдау (ТГА) және Фурье түрлендіру инфрақызыл спектроскопиясы әдістері арқылы зерттелді. ТГА талдауы азот атмосферасында, 100–600 °C температура аралығында, 20 °C/мин жылыну жылдамдығында SII TG/DTA 6300 аспабы көмегімен жүргізілді. ИҚ спектрлері Thermo Fisher Scientific спектрометрінде 16 рет сканерлеу арқылы,

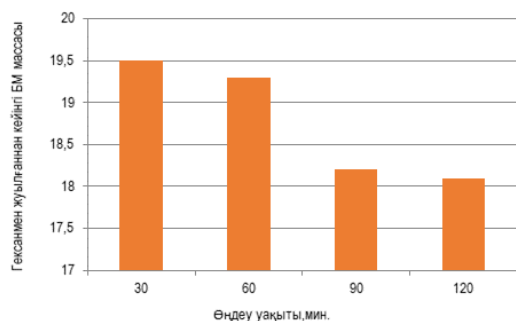
4 см⁻¹ ажыратымдылығымен, 650–4000 см⁻¹ диапазонында алынды. Бұл әдістер гель-пленканың термиялық ыдырау ерекшеліктері мен негізгі функционалдық топтарын анықтауға мүмкіндік берді.

Гидролитикалық ыдырау бойынша эксперименттік зерттеулер күріш целлюлозасынан алынған гель-пленкаларға әртүрлі рН ортада — қышқыл (рН 4,08), бейтарап (рН 6,86) және сілтілі (рН 8,86) жағдайларда жүргізілді (3-сурет). Тәжірибе барысында адам денесінің температурасына сәйкес келетін 37 °C температура сақталды. Бірдей өлшемдегі пленка үлгілері сәйкес буферлік ерітінділерге батырылып, олардың массалық өзгерістері 1, 3 және 7 күннен кейін бақылауға алынды. Әр уақыт нүктесінде масса жоғалуының пайыздық мөлшері өлшеніп, гидролитикалық тұрақтылыққа рН мәнінің әсері бағаланды.

Нәтижелер гидролиз жылдамдығының рН мәніне айқын тәуелді екенін көрсетті: ыдырау ең жылдам қышқыл ортада, ал ең баяу сілтілі ортада жүрді.

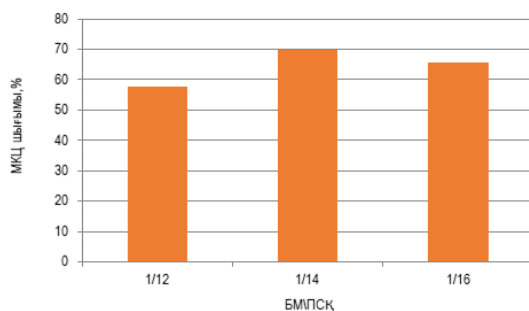
НӘТИЖЕЛЕР

Биомассаны алдымен артық заттардан тазалау мақсатында 99%-дық гексанмен шаю жұмыстары жасалды. Осы шаю процесі кезінде жоғалған масса мөлшері 3 суретте көрсетілген. Биомассаның бастапқы массасы 20 г болды. Гексанмен шаю кезінде 2 сағаттан кейін күріш қауызының массасы 18 г болды. Яғни, 2 г жоғалғанын көруге болады (Сурет 4).



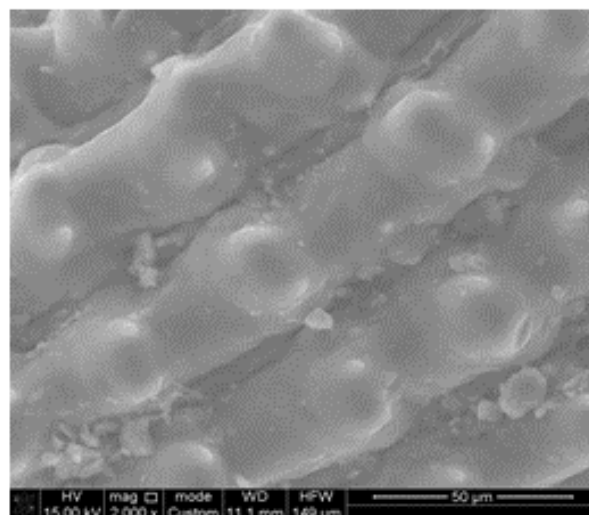
Сурет 4. Гексанмен шаю кезіндегі шикізат массаларының өзгерісі (бастапқы масса 20 г)

МКЦ шығымына (1) биомасса мен пероксисірке қышқылының (ПСК) қатынастарының әсері 4 суретте көрсетілген. 1/12, 1/14 және 1/16 қатынастары қарастырылды. Нәтижеден көргеніміздей, күріш қауызы үшін МКЦ шығымы 1/14 қатынаста жоғары мәнге (70%) ие болған байқаймыз.

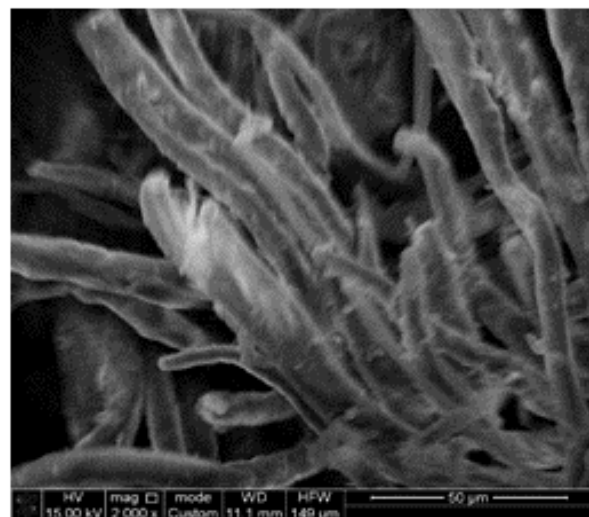


Сурет 5. МКЦ шығымына БМ/ПСК өңдеу қатынасының әсері

БМ алынған МКЦ өнімдерінің үлгілерінің беткі морфологиясы СЭМ арқылы зерттелді. 6-суретте бастапқы шикізат (а), күріш қауызынан (ә) алынған МКЦ-ның құрылымдық микросуреттері көрсетілген. БМ пероксисірке қышқылымен өңдеу барысында оңтайлы жағдайында алынған үлгілерде целлюлоза талшықтары түзілгенін байқауға болады. Талшық ені шамамен 7–10 мкм және ұзындығы бірнеше мкм болды. Пероксисірке қышқылымен өңдеу кезінде күріш қауызындағы төмпешікті құрылымның жойылып, реттелген талшықты құрылымға ауысқандығы байқалады.



а)

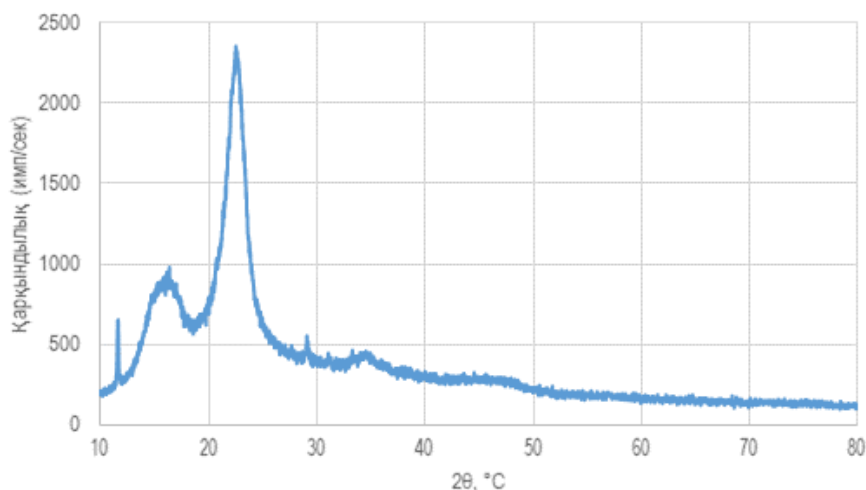


ә)

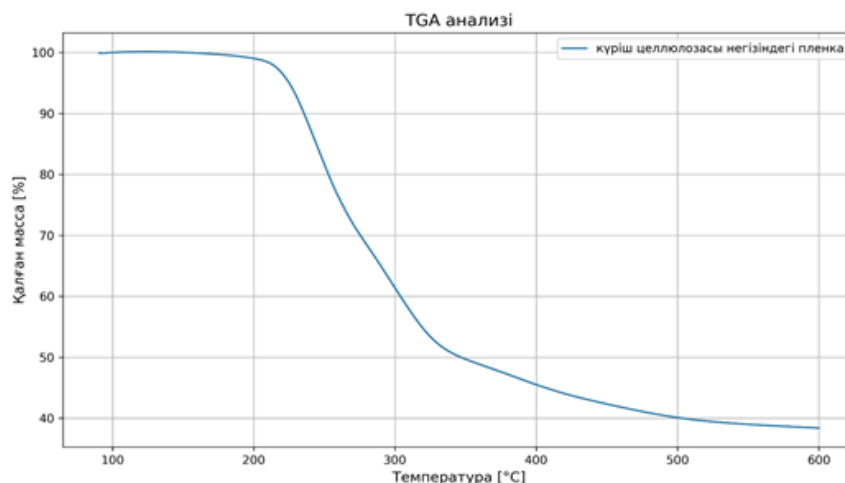
Сурет 6. Биомасса мен микрокристалды целлюлозаның құрылымдық микросуреттері: күріш қауызы (а), күріш қауызынан алынған МКЦ (ә)

МКЦ рентгендік дифракциялық үлгілерін талдау нәтижесінде (сурет 7) оның аморфты-кристалдық табиғаты анықталды. $2\theta = 16,1^\circ$ және $22,5^\circ$ бұрыштарындағы дифракциялық шыңдар целлюлозаның (110) және (200) кристалл жазықтықтарына сәйкес келіп, оның жоғары дәрежелі кристалдылығын көрсетеді.

МКЦ құрылымын сипаттау мақсатында молекулалық құрылымдағы реттелген аймақтардың ретсіз орналасқан аймақтарға қатынасы бағаланды. МКЦ-дағы шыңдардың ені тар әрі қарқындылығы жоғары екені байқалды. Бұл аморфты компоненттер – гемицеллюлозалар мен лигниннің жойылуымен түсіндіріледі. Шыңдардың ұзаруы мен тарылуы кристалдылықтың артқанын білдіреді, яғни МКЦ-дағы аморфты бөліктер азайып, кристалдық құрылымы жоғары материал алынған.



Сурет 7. Үлгінің рентгендік фаза талдауы



Сурет 8. Күріш целлюлозасы негізіндегі гель-пленканың термогравиметриялық талдауы

Күріш целлюлозасынан алынған гель-пленканың термиялық тұрақтылығы ТГА әдісі арқылы бағаланды (сурет 8). Термоанализ нәтижесінде екі негізгі масса жоғалту кезеңі анықталды. Бірінші ыдырау фазасы шамамен 180–300 °C аралығында басталып, массаның 56% жоғалуына әкеледі. Бұл кезең целлюлозаның дегидратациясы, термиялық ыдырауы және деполимеризациясымен байланысты. 500 °C дейін біртіндеп ыдырау жалғасады, әрі қарай айтарлықтай масса жоғалту байқалмайды. Бұл термогравиметриялық талдау пленканың салыстырмалы термиялық тұрақтылығын және құрылымдық біртектілігін дәлелдейді.

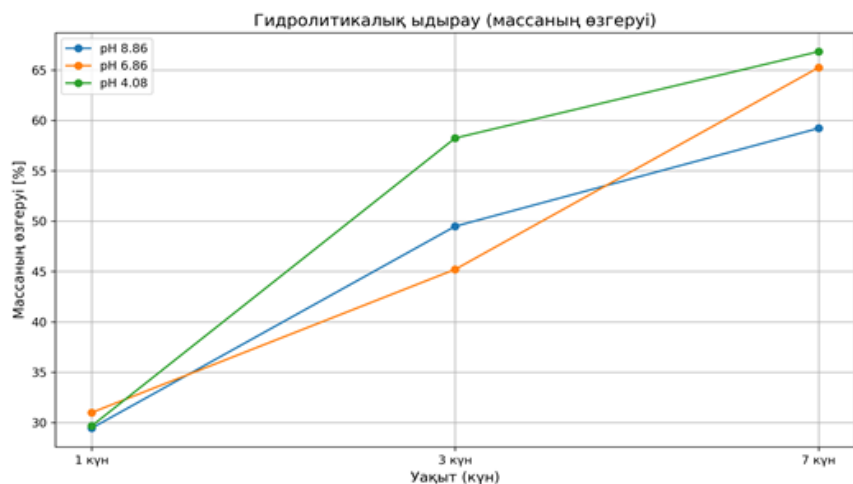
Әдебиет деректеріне сәйкес, таза микрокристалды целлюлозаның термогравиметриялық анализі әдетте екі сатылы масса жоғалту қисығын көрсетеді: 50–120 °C аралығында адсорбцияланған ылғалдың булануы (4–6%), 280–350 °C аралығында негізгі термиялық ыдырау жүреді, ал 600 °C жоғарыда масса тұрақтанып, қалдық мөлшері 5–8% құрайды [19]. Бұл мәндер тәжірибелік деректермен салыстыру үшін эталон ретінде қолданылды.

Күріш целлюлозасынан алынған гель-пленканың құрылымдық ерекшеліктері ИҚ- спектроскопия әдісімен зерттелді (сурет 9). Спектрде 3426, 3350 және 3347 cm^{-1} толқын сандары аймағында О–Н созылу тербелістеріне сәйкес келетін жұтылу жолақтары байқалды, бұл целлюлозадағы гидроксил топтарының көп мөлшерде бар екенін көрсетеді. Спектрде 2894 cm^{-1} – С–Н созылу, 1735 cm^{-1} – карбонил (C=O) топтарына тән жұтылу, ол қалдық гемицеллюлоза немесе этерификация өнімдерінен туындауы мүмкін. 1605 cm^{-1} – ароматты сақиналардағы C=C созылуы. Бұл ерекшеліктер күріш целлюлозасының бастапқы химиялық құрылымын сипаттайды және болашақ модификацияларды бағалауда эталон бола алады.

Әдебиет деректерінде таза микрокристалды целлюлозаның ИҚ спектрінде 3420–3450 cm^{-1} (О–Н), 2890 cm^{-1} (С–Н), 1640–1650 cm^{-1} (адсорбцияланған судың иілуі), 1430 және 1370 cm^{-1} (С–Н деформациясы), 1050–1030 cm^{-1} (C–O–C) жолақтары тіркелген [20]. Бұл мәндер үлгінің функционалдық топтарын салыстыру үшін эталон ретінде алынды.



Сурет 9. Күріш целлюлозасы негізіндегі гель-пленканың Фурье түрлендірілген инфрақызыл спектрлері



Сурет 10. Әртүрлі pH мәндеріндегі гель-пленканың салмақ жоғалтуын салыстыру

Күріш целлюлозасынан алынған гель-пленканың гидролитикалық ыдырау қасиеттері әртүрлі pH мәндерінде зерттелді (сурет 10).

Нәтижелер көрсеткендей, ыдырау процесі pH мәніне тәуелді. Қышқыл ортада (pH 4,08) пленкалар ең жоғары масса жоғалуын көрсетті – 7 күн ішінде 66%-дан астам, бұл целлюлоза матрицасындағы сутектік байланыстардың үзілуі мен гидролитикалық ыдыраудың жылдамдағанын көрсетеді. Ал бейтарап (pH 6,86) және сілтілі (pH 8,86) орталарда ыдырау баяу жүріп, сәйкесінше 65% және 59% масса жоғалту байқалды. Бұл құбылыс целлюлоза негізіндегі пленкалардың қышқыл ортаға сезімтал екенін көрсетеді, себебі қышқыл ортада гидроксил топтарының протондануы нәтижесінде гидролиз белсендірек жүреді. Бұл мәліметтер күріш целлюлозасынан жасалған пленкалардың қоршаған орта тұрақтылығы мен бақыланатын биодеградация талап етілетін қолдану салалары үшін жарамдылығын бағалауға мүмкіндік береді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Ауылшаруашылық қалдықтарынан микрокристалды целлюлоза алу – қалдықтарды тиімді кәдеге жарату мен экологиялық таза биоматериалдар өндірудің болашағы зор бағыты болып табылады. Бұл зерттеуде күріш қауызынан МКЦ алынып, оның негізінде пленкалар дайындау және алынған материалдарды жан-жақты зерттеу қарастырылған.

Зерттеу нәтижелеріне сәйкес, ҚҚ-дан алынған МКЦ шығымы 1/14 қатынаста 70% құрады. СЭМ арқылы алынған микрофотосуреттер МКЦ бөлшектерінің талшықты құрылымға ие екенін, ал орташа диаметрі 7–10 мкм аралығында екенін көрсетті.

РФА талдауы МКЦ үлгілерінің аморфты-кристалдық құрылымға ие екенін көрсетті, ал $2\theta = 22,8^\circ$ және $16,1^\circ$ бұрыштарында байқалған дифракциялық шыңдар кристалдылықтың жоғары деңгейін көрсетті.

ИҚ спектроскопиялық талдау МКЦ құрамында гидроксил, карбонил және эфирлік функционалдық топтардың бар екенін растады. ТГА нәтижесінде екі фазалық термиялық ыдырау байқалды, негізгі масса

жоғалту 220–450 °C аралығында жүрді. Бұл пленкаларының термиялық тұрақты екенін дәлелдейді.

Гель-пленканың гидролитикалық ыдырауы қышқыл ортада (рН 4,08) ең жылдам жүріп, 7 күн ішінде 66%-дан астам масса жоғалту тіркелді. Бұл материалдың рН-сезімталдығын көрсетеді.

Бұл зерттеу ауылшаруашылық қалдықтарын қайта өңдеу арқылы – микрокристалды целлюлоза алу мүмкіндігін дәлелдеп, оны биомедицинадағы пленкалар, экологиялық қаптамалар, сорбенттер және биокөмпозиттер дайындауда пайдалануға негіз болады.

Алғыс

Жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің гранттық қаржыландыруымен жүргізілді.

ИРН АР19679937 – 2023–2025 жж.

ӘДЕБИЕТТЕР / REFERENCES

1. Li S., Chen G. Agricultural waste-derived superabsorbent hydrogels: Preparation, performance, and socioeconomic impacts // *Journal of Cleaner Production*. – 2020. – Vol. 251. – Article 119669. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119669>
2. Cao G., Zhang X., Wang Y., et al. Estimation of emissions from field burning of crop straw in China // *Chinese Science Bulletin*. – 2008. – Vol. 53. – P. 784–790. <https://doi.org/10.1007/s11434-008-0145-4>
3. Peck M.D. Epidemiology of burns throughout the world. Part I: Distribution and risk factors // *Burns*. – 2011. – Vol. 37, No. 7. – P. 1087–1100. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2011.06.005>
4. Lin N., Dufresne A. Nanocellulose in biomedicine: Current status and future prospect // *European Polymer Journal*. – 2014. – Vol. 59. – P. 302–325. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2014.07.025>
5. Jorfi M., Foster E.J. Recent advances in nanocellulose for biomedical applications // *Journal of Applied Polymer Science*. – 2014. – Vol. 132. – Article 41719. – <https://doi.org/10.1002/app.41719>
6. Wang B., Sain M. Isolation of nanofibers from soybean source and their reinforcing capability on synthetic polymers // *Composites Science and Technology*. – 2007. – Vol. 67, Issues 11–12. – P. 2521–2527. – <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2006.12.015>
7. Morán J.I., Alvarez V.A., Cyras V.P., et al. Extraction of cellulose and preparation of nanocellulose from sisal fibers // *Cellulose*. – 2008. – Vol. 15. – P. 149–159. <https://doi.org/10.1007/s10570-007-9145-9>
8. Fan G., Wang M., Liao C., et al. Isolation of cellulose from rice straw and its conversion into cellulose acetate catalyzed by phosphotungstic acid // *Carbohydrate Polymers*. – 2013. – Vol. 94, No. 1. – P. 71–76. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.01.073>
9. Antony C.F.L., Sivakumar V., Gupta S. Innovative strategy for rice straw valorization into nanocellulose and nanohemicellulose and its application // *Industrial Crops and Products*. – 2022. – Vol. 179. – Article 114695. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114695>
10. Chen Y., Wu Q., Huang B., et al. Isolation and characteristics of cellulose and nanocellulose from lotus leaf stalk agro-wastes // *BioResources*. – 2015. – Vol. 10, № 1. – P. 684–696.
11. Andresen M., Stenstad P., Mørseth T., et al. Nonleaching antimicrobial films prepared from surface-modified microfibrillated cellulose // *Biomacromolecules*. – 2007. – Vol. 8, No. 7. – P. 2149–2155. <https://doi.org/10.1021/bm070304e>
12. Barbash V., Poyda V., Deykun I. Peracetic acid pulp from annual plants // *Cellulose Chemistry and Technology*. – 2011. – Vol. 45, No. 9–10. – P. 613–618.
13. Минакова А.Р. Получение целлюлозы окислительно-органосольвентным способом при переработке недревесного растительного сырья: дис. ... канд. техн. наук. – Архангельск, 2008. – 151 с. [Minakova A.R. Polucheniye tsellyulozy oksilitel'no-organosol'ventnym sposobom pri pererabotke nedrevsnogo rastitel'nogo syr'ya: dis. ... kand. tekhn. nauk. – Arkhangel'sk, 2008. – 151 p. (In Russ.)]
14. Akatan K., Kabdrakhmanova S., Kuanyshbekov T., et al. Highly-efficient isolation of microcrystalline cellulose and nanocellulose from sunflower seed waste via environmentally benign method // *Cellulose*. – 2022. – Vol. 29. – P. 6503–6521. <https://doi.org/10.1007/s10570-022-04527-4>
15. Дрикер Б.Н., Вураско А.В., Галимова А.Р. Получение и свойства окислительно-органосольвентной целлюлозы из недревесного растительного сырья // *Лесной вестник*. – 2008. – № 3. – С. 153–156. [Driker B.N., Vurasko A.V., Galimova A.R. Polucheniye i svoystva oksilitel'no-organosol'ventnoy tsellyulozy iz nedrevsnogo rastitel'nogo syr'ya // *Lesnoy vestnik*. – 2008. – No. 3. – P. 153–156. (In Russ.)]
16. Gounden V., Singh M. Hydrogels and wound healing: current and future prospects // *Gels*. – 2024. – Vol. 10. – Article 43. <https://doi.org/10.3390/gels10010043>
17. Chen C., Xi Y., Weng Y. Recent advances in cellulose-based hydrogels for tissue engineering applications // *Polymers*. – 2022. – Vol. 14. – Article 3335. <https://doi.org/10.3390/polym14163335>
18. Deng Y., Yang N., Okoro O.V., et al. Alginate-based composite and its biomedical applications // *Properties and Applications of Alginates* // ed. by Rehm B.H.A. – IntechOpen, 2021. <https://doi.org/10.5772/intechopen.99494>
19. Klemm D., Kramer F., Moritz S., Lindström T., Ankerfors M., Gray D., Dorris A. Nanocelluloses: A new family of nature-based materials // *Angewandte Chemie International Edition*. – 2011. – Vol. 50. – P. 5438–5466. <https://doi.org/10.1002/anie.201001273>
20. French A.D. Idealized powder diffraction patterns for cellulose polymorphs // *Cellulose*. – 2014. – Vol. 21. – P. 885–896. <https://doi.org/10.1007/s10570-013-0030-4>

ПОЛУЧЕНИЕ МИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОТХОДОВ И РАЗРАБОТКА ГЕЛЬ-ПЛЁНОК НА ЕЁ ОСНОВЕ

**М. К. Шамшиденов¹, Е. А. Алтынов¹, Б. У. Рахимова²,
К. Бексейтова^{1,3}, А. Сейтхан¹, К. К. Кудайбергенов^{1*}**

¹ *Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан*

² *Казахский государственный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан*

³ *Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан*

* E-mail для контактов: k.kudaibergenov@satbayev.university

В настоящей работе рассматривается процесс получения микрокристаллической целлюлозы путём удаления лигнина из биомассы и изучение её свойств. В качестве биомассы использовалась рисовая шелуха, являющаяся сельскохозяйственными отходами. Было установлено влияние соотношения биомассы и пероксиуксусной кислоты на выход микрокристаллической целлюлозы. Выход микрокристаллической целлюлозы из рисовой шелухи при соотношении 1/14 составил 70%. Кроме того, были получены гель-плёнки на основе рисовой МКЦ и альгината натрия, и исследованы их гидролитические свойства. В кислой среде (рН 4.08) за 7 дней зафиксировано снижение массы плёнки на 66%, что подтверждает её чувствительность к рН и биоразлагаемость.

Изучены морфологическая поверхность, средний размер частиц и структура образцов. Морфология поверхности образцов была исследована с помощью сканирующего электронного микроскопа, и установлено, что средний размер частиц составляет 7-10 мкм. РФА подтвердил аморфно-кристаллическую природу материала.

ИК спектроскопия Фурье-преобразования подтвердила наличие гидроксильных, карбонильных и эфирных групп. Результаты термогравиметрического анализа (ТГА) показали термическую стабильность полученных гель-плёнок.

Разработанный способ получения микрокристаллической целлюлозы из биомассы не требует многостадийной обработки по сравнению с традиционными методами и безопасен для окружающей среды. Показано, что можно получить качественную микрокристаллической целлюлозы в одну стадию без использования реагентов, содержащих серу и хлор, высокого давления и больших затрат воды.

Интерес к микрокристаллической целлюлозе обусловлен её уникальными свойствами, такими как лёгкость, нетоксичность, биосовместимость и биологическая разлагаемость. В настоящее время она пользуется большим спросом в производстве аэрогелей, гелей, биокомпозитов, биологически разлагаемых материалов и плёнок.

Ключевые слова: микрокристаллическая целлюлоза, сельскохозяйственные отходы, пероксиуксусная кислота, биомасса, рисовая шелуха, гель-плёнка.

PRODUCTION OF MICROCRYSTALLINE CELLULOSE FROM AGRICULTURAL WASTE AND PREPARATION OF GEL FILMS BASED ON IT

**M. K. Shamshidenov¹, Ye. A. Altynov¹, B. U. Rakhimova²,
K. Bexeitova^{1,3}, A. Seithan¹, K. K. Kudaibergenov^{1*}**

¹ *Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpaev, Almaty, Kazakhstan*

² *Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan*

³ *Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan*

* E-mail for contacts: k.kudaibergenov@satbayev.university

This paper discusses the process of obtaining microcrystalline cellulose by removing lignin from biomass and studying its properties. Rice husks, which are agricultural waste, were used as biomass. The effect of the ratio of biomass to peroxyacetic acid on the yield of microcrystalline cellulose was determined. The yield of microcrystalline cellulose from rice husks at a ratio of 1/14 was 70%. Additionally, gel films based on rice MCC and sodium alginate were prepared, and their hydrolytic degradation properties were studied. In an acidic medium (pH 4.08), the gel film showed a 66% mass loss within 7 days, indicating pH sensitivity and biodegradability.

The morphological surface, average particle size, and structure of the samples were studied. The surface morphology of the samples was examined using a scanning electron microscope, and it was found that the average particle size was 7–10 µm. X-ray diffraction (XRD) analysis confirmed the amorphous–crystalline nature of the material. Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) confirmed the presence of hydroxyl, carbonyl, and ether functional groups. Thermogravimetric analysis (TGA) demonstrated the thermal stability of the gel films.

The developed method for producing microcrystalline cellulose from biomass requires fewer processing stages compared to traditional methods and is environmentally safe. It was shown that high-quality microcrystalline cellulose can be obtained in one stage without the use of reagents containing sulfur and chlorine, high pressure, or large amounts of water. The interest in microcrystalline cellulose is due to its unique properties, such as lightness, non-toxicity, biocompatibility, and biodegradability. Currently, it is in high demand in the production of aerogels, gels, biocomposites, biodegradable materials, and films.

Keywords: *microcrystalline cellulose, agricultural waste, peroxyacetic acid, biomass, rice husks, gel film.*