

Шынар Қадылбекқызы Саньязова – педагогика ғылымдарының магистрі, "Химия" кафедрасының лекторы, Шығыс Қазақстан университеті. С. Аманжолова Өскемен қаласы, Қазақстан Республикасы, e-mail: shynarsanyazova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0741-9268>.

Information about the scientists of the research

Rosa Aubakirova – Candidate of Chemical Sciences, Professor of the Department of Chemistry, S. Amanzholov East Kazakhstan University of Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan, e-mail: roza.aubakirova@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9403->

Zhazira Mukazhanova – Doctor of Philosophy (PhD), Associate Professor of the Department of Chemistry, S. Amanzholov East Kazakhstan University of Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan, e-mail: mukazhanovazhb@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4635-8000>

Kulbanu Kabdulkarimova – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry, L. Gumilyov ENU, Astana, Republic of Kazakhstan, e-mail: qk2107@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0475-9906>.

Irina Afanasenkova – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry, S. Amanzholov East Kazakhstan University of Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan, e-mail: ivekz08@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5369-825X>

Shynar Sanyazova – Master of Pedagogical Sciences, lecturer of the Department of Chemistry, S. Amanzholov East Kazakhstan University of Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan, e-mail: shynarsanyazova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0741-9268>

Материал поступил в редакцию 16.04.2022 г.

DOI: 10.53360/2788-7995-2023-4(12)-23

FTAXA: 31.15.37; 31.23.27

М.Д. Султан^{1*}, Ж.Б. Оспанова¹, К.Б. Мусабеков¹, Т.Е. Кенжебаев², П. Тахистов³

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті

050040, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., әл-Фараби даңғ., 71

²ЖШС «Қазақ мал шаруашылығы және жемшөп өндірісі ғылыми-зерттеу институты»

050035, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Жандосов көш., 51

³Нью-Джерси Мемлекеттік Университеті – Ратгерс Университеті

08901 NJ, Америка Құрама Штаттары, Нью-Брансуик қ., Дадлей, 65

*e-mail: bolatovameruert@gmail.com

МАЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ҚАЛДЫҚТАРЫНАН АЛЫНҒАН КЕРАТИННІҢ ҚАСИЕТТЕРІ МЕН ҚОЛДАНЫЛУЫ

Аңдатпа: Зерттеу соңғы он жылдықтағы ғалымдардың зерттеулері арасында мал шаруашылығы қалдықтарынан алынған кератині бар шикізаттың қасиеттеріне заманауи шолу жасауға және кератинді әртүрлі салаларда қолданудың маңызды рөлін көрсетуге бағытталған. Бұл шолуда кератиннің құрамы мен түрлері, қолдану аясы, кератиннің функциялары, мал шаруашылығы мен балық шаруашылығында таралуы қарастырылады. Айта кету керек, кератин биомедицинада, тіндік инженерияда, биопластикада, тоқыма бұйымдары, биокомпозиттер және құрылыс материалдары өндірістерінде кеңінен қолданылады. Бұл мақалада кератиннің физикалық және химиялық қасиеттері мен артықшылықтары, соның ішінде, биологиялық ыдырауы, механикалық қабілеттері, температура режиміне төзімділігі және жылу өткізгіштігі көрсетілген. Кератин гидролизатын әртүрлі әдістерді қолдана отырып, жүн, шаш, құстардың қауырсындары сияқты әртүрлі шикізаттардан синтездеуге болады. Кератин гидролизатын синтездейтін маңызды әдістің бірі – экстракция әдісі болып табылады. Экстракция әдісі бірнеше түрге бөлінеді: тотығу және тотықсыздану, сондай-ақ бу жарылысымен экстракция әдісі кең қолданысқа ие. Ғалымдар арасында мал шаруашылығы қалдықтарынан алынған кератинді медициналық мақсатта зерттеу қызығушылығы артқан, соның

нәтижесінде дәрі-дәрмек жабындары мен талшықтар арасында алғашқы инновациялық жаңалықтар пайда болды. Жануарлардың қалдықтарынан алынған кератин биологиялық және биоматериалдық қолдану үшін перспективалы белсенді биомолекула болып табылады. Кератиннің табиғатына байланысты беретін ерекше қасиеттері синтетикалық материалдарды биологиялық ыдырайтын биоматериалдармен алмастыру мүмкіндігін береді, бұл агроөнеркәсіптік кешендердің жалпы экономикасының тұйық циклін жақсартып алады.

Түйін сөздер: кератин, жүн, биополимер, гидролиз, ақуыз, α -кератин, β -кератин.

Кіріспе

Адамзаттың экономикалық дамуы, бүкіл әлем бойынша халықтың жаһандық тығыздығы және урбанизация мал шаруашылығының, жүнді, теріні өңдеудің және онымен байланысты өңдеу салаларының, сондай-ақ ауыл шаруашылығымен тікелей байланысты кейбір қызметтердің ұлғаюына әкелді. Жыл сайын жаһандық жүн өндірісі кератин шикізатының қалдықтарын жоюға әкеледі, осылайша кератинделген қалдықтардың жиналуын арттырады [1]. Мал қалдықтарының жиналуын болдырмау айналмалы биоэкономикаға ықпал ететін қалдықтарды басқару жолдарын жандандыру идеясын тудырады.

Соңғы жылдары Қазақстанда 30 мың тоннаға жуық жүн өндіріледі, тек Қазақстанның Ұлттық Кәсіпкерлер палатасының деректері бойынша 2022 жылы республикада жыл сайын 450 тонна мақта, 25-37 тонна жүн және 7,5 млн тері өндіріледі, олар кератиндердің орасан зор ресурстары болып саналады. Бірақ барлық дайын өнімнің 95%-ы импортталады, өйткені шикізат іс жүзінде өңделмейді. 2021 жылы 36 тонна жүн жиналып, оның 15 мың тоннасы жойылды [2]. Жүннің шамамен 43% өңделмейді және жоғалады [2], сондай-ақ өртеу арқылы жойылады, нәтижесінде кератин ресурстары жоғалып қана қоймайды, сонымен қатар денсаулыққа қауіпті ауруларды тудырады және қоршаған ортаның елеулі экологиялық проблемаларына әкеледі. Осылайша, жануарлардан алынатын кератинді шикізаттың рөлін, қасиеттерін және қолданылуын зерттеу ресурстарды үнемдеуде және қоршаған ортаның ластануын азайтуда өзектілігін анықтайды. Құрамында кератин бар шикізат қалдықтарын молекулярлық деңгейге кәдеге жаратудың ауысуы өміршең және үнемді нұсқа болуы мүмкін, осылайша өңделген биополимерлер мал шаруашылығынан тыс қолданылады. Бұл кератинделген қалдықтардың құндылығын арттырады, қалдықтардың құнын арттырады және айналмалы биоэкономика бағытында қалдықтарды тұрақты басқаруды қамтамасыз етеді.

Мал шаруашылығынан кератині бар шикізаттың негізгі көзі – қой, ешкі жүні және құстардың қауырсындарынан алынған кератиндер болып табылады. 2017 жылдан 2020 жылға дейінгі кезеңде Қазақстан Республикасының барлық өңірлерінде малдың жалпы саны көрсетілген (

Кесте 1 – Ұлттық экономика министрлігінің статистикасына сәйкес ҚР барлық өңірлеріндегі мал мен құстардың саны

Жыл	Қой мен ешкі, мың бас	Құстар, млн. бас
2017	17 947,1	37,8
2018	18 329,0	39,9
2019	18 699,1	44,3
2020	19 155,7	45,0

сәйкес, мал өсімі әрбір келесі жылға орта есеппен 2,3% құрайды.

Кератин – биополимер, сонымен қатар әр түрлі өмірлік салалардағы өнімдерді жасау үшін ақуыз мен биоматериалдың көзі. Косметика және фармацевтикадағы кератиннің құжатталған маңыздылығынан басқа, кератин шикізаты тыңайтқыш, биоотын, биоактивті пептидтер өндірісінде, медицинада, тіндік инженерияда, сондай-ақ мал азығын өндіруде қолданылады (

Кератиннің табиғатта таралуы. Авторлар [3] кератиннің көп мөлшері жоғары материал түзетін қасиеттерге ие екенін, оларды әдетте құс шаруашылығында тасталатын тауық қауырсындарынан алуға болатынын атап өтті. Мал қалдықтарын қайта өңдеу материалдың жоғары қасиеттері бар негізгі ақуыз болып табылатын кератинді алуға мүмкіндік береді. Жүннің құрамына кіретін кератин ақуызы азот көзі және микробтар үшін рН реттегіші ретінде қызмет етеді. Кератин бар шикізаттың құрамы мен қасиеттерін зерттеу қалдықтарды қайта өңдеуге және агроөнеркәсіптік кешендердің айналмалы циклінің жалпы экономикасын жақсартуға мүмкіндік береді.

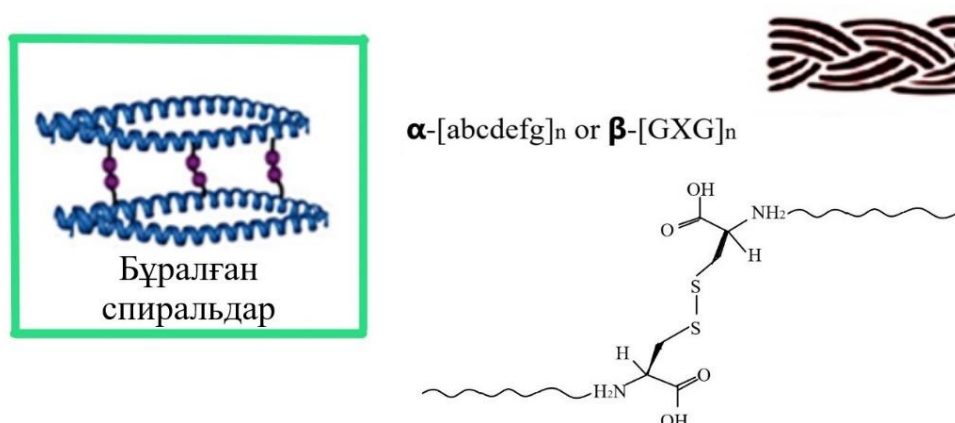


Сурет 1 – Мал шаруашылығы қалдықтарынан кератин шикізатын пайдалана отырып технологиялық процестерді қолдану схемасы

Жүннің шамамен 90-95% кератиннен тұрады. Авторлар [4] кератиннің күрделі аминқышқылдық құрамы бар екенін, яғни аргинин, серин, пролин, глицин, лейцин, валин, треонин, глутамат, аспартат бар деп хабарлайды. Кератин құрамындағы мөлшері ең жоғары – цистин аминқышқылы, ол 5% құрайды. Кератин құрамында мөлшері ең төмен аминқышқылдар – гистидин, лизин, метионин болып табылады.

Жүнді рентгендік зерттеу нәтижесінде кератиннің екі негізгі түрі анықталды (**Ошибка! Неверная ссылка закладки.**– α және β -кератиндер. α -кератиндер бейтарап α -спиральдардың I-типті және II-типті ақуыз қышқыл тізбектерінен тұрады, олар тізбекаралық байланыстар арқылы ұзартылған спиральды жіптерді құрайды және олардың арасында бұралған пішінге ие.

КЕРАТИНДЕР



Сурет 2 – Табиғи ақуыз – кератин

Мақалада α -кератиндер сүтқоректілерде, жануарлардың жүнінде, тұяқтарында және мүйіздерінде жиі кездесетіні көрсетілген [5]. β -кератиндер α -спиральдардың реттелген құрылымдарынан, сондай-ақ полипептидті зигзаг тізбектері бар реттелмеген β -парақтардан тұрады, осылайша β -кератиндерді α -кератиндерге қарағанда берік деп атауға болады. Тауық қауырсындарындағы қабыршақтардың арасында орналасқан эпидермисте кездесетін α -

кератин эпителий жасушаларының механикалық беріктігіне, олардың жабысқақтығына және созылу кезінде пішінінің өзгеруіне жауап береді. Керісінше, бауырымен жорғалаушылар қабыршықтарындағы β -кератин шектеулі созылмалы болып табылады, сонымен бірге айтарлықтай микробиологиялық төзімділік пен гидрофобтылықты көрсетеді және табиғатта қорғаныс қызметін атқарады.

Кератиннің қасиеттері. Авторлар [6] жануарлардың жанама өнімдерінен алынған коллагенді, эластинді және кератинді бөлісу және қолдану мүмкіндіктерін атап өтті, олардың арасындағы ұқсастықтар мен айырмашылықтарды атап көрсетті. Бұл талшықты ақуыздар α -спираль түрінде жалпы супрамолекулалық құрылымға ие, бұл механикалық қасиеттер мен функционалдылыққа тән негізгі факторы болып табылады. Бұл ақуыздар өте перспективалық биоактивті пептидтерді шығара алады [7]. Кератин, коллаген және эластиннің α -спиральдары көбік, эмульсия және биоматериалдар сияқты коллоидтық жүйелерді құруға мүмкіндік береді. Осылайша, авторлар [6] мал шаруашылығы мен балық шаруашылығы қалдықтарынан алынған сүтқоректілердің кератині мен коллагені дәрі-дәрмек жеткізуші реагент ретінде және гемостатикалық және жараларды емдейтін биоматериал ретінде көбірек назар аударатынын атап көрсетеді. Бұл ақуыздар өте перспективалық биоактивті пептидтерді шығара алады.

Авторлар [8] кератиннің физикалық және химиялық қасиеттеріне сүйене отырып, дәлірек айтсақ, күкірт құрамы бойынша кератин жұмсақ және қатты болып бөлінетінін атап кетті. Жұмсақ кератин құрамында күкірттің мөлшері төмен (<3 масса. %), терінің мүйізді қабатында жиі кездеседі, ал қатты кератиннің құрамында күкірт мөлшері жоғары ($>3\%$ масса. %). Ішкі және молекулааралық дисульфидті, гидрофобты байланыстар, сонымен қатар сутегі және иондық байланыстардың болуы кератинге жоғары созылу қасиеттерін, қаттылықты, ерімеушілікті, ферментативті лизиске төзімділікті және жоғары тұрақтылықты береді.

Мақалада кератиннің қасиеттері мен табиғаты сипатталған. Оның коллагеннен айырмашылығы – кератин денатурациясының жоғары температурасына (балқу температурасы $> 215^{\circ}\text{C}$) байланысты термиялық өңдеуге төзімді, суға төзімді және аз сынғыш екені байқалды. Кератин қосымша химиялық, физикалық немесе ферментативті кросс-байланыстырғыштарсыз күрделі иерархиялық құрылымдарға өздігінен жиналу қабілетіне ие [9].

Авторлар [10] кератиннің механикалық қасиеттері ылғалдану дәрежесімен тікелей байланысты екенін атап көрсетті, өйткені су мен ылғалдылық беріктікті, қаттылықты және тығыздықты төмендетеді. Бұл кератин құрамындағы α -спиральға байланысты, ол созылған кезде қатты деформацияланады. Осылайша, механикалық созылу кезінде кератин молекулалары деформацияланады, өйткені гидрленген кератиндерде икемділік артады. Авторлар [10] сол кезде әртүрлі салыстырмалы ылғалдылыққа негізделген созылу кезінде кератині бар шикізаттың деформация қисықтарын зерттеп, сипаттады. Кератиннің жылу өткізгіштігі есептелген, ол $0,19 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \text{ К}^{-1}$. Дегенмен, кератин жүнге, шашқа, қауырсынға және т.б. үшін жылу оқшаулағыш тосқауыл ретінде қызмет етеді. Шаш, жүн сияқты кератинделген жүйелер тірі организмдер үшін ең құнды жылу оқшаулағыштары болып табылады, өйткені олардың табиғаты күрделі құрылымдарға ие.

Авторлар [11] кератин молекулалары өте алуан түрлі екенін атап өтті. Сүтқоректілерде кератин эпителий ұлпаларында таралады. Бүгінгі күні адамда 28 I-типті кератин гені және 26 II-типті гені табылды. Тіндердің түріне байланысты кератиндердің ерекше экспрессия үлгілері бар, мысалы цитокератин 4 және 13 өңештің шырышты қабатында орналасады, ал цитокератин 8 және 18 кәдімгі эпителийде локализацияланады, цитокератин 1 және 10 терінің базальды қабатында синтезделеді, цитокератин 3 және 12 қабықтың эпителийінде болады. Адамдардың ағзасында кератин экспрессия заңдылықтары негізінен реттеледі. Балықтар мен сүтқоректілердің кератин ақуыздары адаммен салыстырғанда кейбір айырмашылықтарға ие. Балықтың кератин ақуыздары эпителий ұлпаларында таралады, сонымен қатар шеміршек жасушаларында және қаңқа бұлшықеттерінде синтезделеді. Бұл кератиннің балықтардағы тіндерге таралуы өте күрделі екенін дәлелдейді. Жоғарыда аталған тіндерден басқа, таңқаларлық зат – кератиндер балықтардағы тері шырышында болады. Авторлар [11] балық кератиндері жоғарыда аталған тері шырышындағы кейбір микроорганизмдерге қарсы қорғаныс агенттері ретінде әрекет етеді деген гипотезаны ұсынды. Гипотеза *Takifugu rubripes* фугу балығына тексерілді. Ашытқысы ретінде *Saccharomyces cerevisiae* микроорганизмдер пайдаланылды. Нәтижесінде тері шырышындағы кератиндер ашытқыны ұстап, ерімейтін түйіршіктер түзе алатындығы анықталды.

Авторлар [11] мал қалдықтарынан алынған кератиннен фотополимерленген гидрогельдердің артықшылықтарын атап өтті. Фотополимерленген кератин гидрогелдері және PGLa гидрогельдері антибиотиктерге төзімділікті жою және инфекциялық жараларды емдеуді жақсарту үшін қолданылады. Фотополимерленген K31-PGLa гидрогельдері дәріге төзімді

бактериалардан жұқтырылған жараларды емдейтін және жақсы биоүйлесімділік қасиеттерін көрсететін қолайлы ем ретінде әзірленді.

Мақалада [12] кератиннің кең таралған функцияларының бірі оның механикалық беріктігі болып табылады, ол сырттан қатты соққыларға төтеп бере алады. Кератиннің бұл функциясын ірі қара малдың кератинделген жүйелерінен көруге болады. Ірі қара малдың мысалында жылқылардың тұяқ қабырғасы кератиноциттер деп аталатын өлі жасушалардан тұрады. Кератиноциттер қалпына келуге бейім, бірақ көптеген соққылардан аман қалуы мүмкін. Осылайша бұл функция жоғары беріктігі бар кератин негізіндегі биоматериалдарды жасауға мүмкіндік береді.

Авторлар [13] адам ағзасындағы кератиннің қызметі оны тіндік инженерия мен регенеративті медицинада зерттеуге және қолдануға мүмкіндік беретінін атап өтті. Жануарлардан алынатын кератин медицинада маңызды рөл атқарады және оның жараларды таңу үшін қолданылуы зерттелді. Ол жасушаларды бекіту қабілетіне ие лейцин-аспартат-валин (LDV), глутамат-аспартат-серин (EDS), аргинин-глицин-аспартат (RGD) байланыстары арқылы бірегей жасушалық байланыс қасиеттерін көрсетеді. Кератин негізіндегі пленкалар мен гидрогельдер табиғи және синтетикалық полимерлермен біріктірілген жараларды емдейтін қасиеттерге ие [14].

Кератинді қайта өңдеу. Мақалада [15] кератинді өңдеуге ерекше назар аударылды. Олар ICSE – лездік катапульттің бумен жарылу процесін жануарлардың жүні, құстардың қауырсындары сияқты кератині бар шикізатты өңдеудің бастапқы кезеңі екенін және алдын-ала өңдеуде тиімді екенін атап өтті, бұл ірі деградациясыз ең тұрақты мал қалдықтарын жоюға көмектеседі.

Мақалада [16] қазіргі заманда қолданылатын Бу Жарылысы (SE – Steam Explosion) құрылғыларын және олардың мал қалдықтарын, соның ішінде жануарлардың жүні, қауырсындары, тұяқтары мен сүйектерінің кератинделген қалдықтарын қайта өңдеуде қолданылуын жүйелі түрде қарастырылған. Бу Жарылысы (SE – Steam Explosion) технологиясы жоғары өңдеу дәрежесіне қол жеткізу және жануарлардан алынатын жанама өнімдерді биоқауіпсіз жоюды қамтамасыз ету үшін мал қалдықтарын сұйылтудың "жасыл" стратегиясы ретінде пайдаланылуы мүмкін деп анықталды. Әдетте, Бу Жарылысы технологиясы материалдар үшін жоғары қысымды бу мен температураны (110-260°C, 0,04–5 МПа) қамтамасыз ете алады. Атап айтқанда, материалдарды Бу Жарылысы құрылғысына жүктегеннен кейін, материалдар лезде жарылыс пайда болғанға дейін сынақ кезеңінде (уақытқа төтеп беру) жоғары температураға (қысымға байланысты ұстау) ұшырайды. Температура мен күту уақыты осы процестің екі негізгі параметрі болғанымен, жетілдірілген Бу Жарылысы құрылғыларының дамуымен жарылыс қуатының тығыздығы деп аталатын жаңа параметр ұсынылды және анықталды.

Авторлар да [10] кератинді қайта өңдеуді де зерттеді. Кератинді әртүрлі әдістерді қолдана отырып, жүн, шаш, құстардың қауырсындары сияқты әртүрлі шикізаттардан синтездеуге болады. Экстракция әдісі бірнеше түрге бөлінеді: тотығу және тотықсыздану, сондай-ақ бу жарылысымен жоғарыда көрсетілген экстракция. Алынған кератин оны зерттеуге және медициналық зерттеулерге көптеген ғалымдардың қызығушылықтарын арттырды, соның нәтижесінде, косметика, дәрі-дәрмек жабыны және талшықтар үшін алғашқы инновациялық жаңалықтар алынды.

Тауық қауырсынына ультрадыбыспен өңдеудің әдісін авторлар [17] зерттеді. Ультрадыбыстың қауырсын кератинінің термиялық тұрақтылығына әсері TGA әдісімен талданды. Өңдеу уақыты шикі тауық қауырсынымен салыстырғанда ультрадыбыстық қуатқа емес, кератиннің салмағын жоғалтуға айқын әсер ететінін көрсетті. Ультрадыбыстың ұзақ әсер етуі кератин талшықтарының ыдырауына және дисульфидті байланыстардың азаюына ықпал етуі мүмкін, бұл салыстырмалы түрде нашар термиялық тұрақтылыққа әкеледі. Ультрадыбыстық қуаттың өзгеруімен әртүрлі үлгілер арасында айтарлықтай айырмашылықтар анықталған жоқ, тек 600 Вт жағдайында кератин салмағын айтарлықтай жоғалтты, бұл жоғары желімдеу ылғалдылығының нәтижесі болуы мүмкін [17].

Кератинді алу. Авторлар [18] иондық сұйықтықты [PSmim]HSO₄ (гидросульфат 1-пропилсульфо-3-метилимидозолий) пайдаланып, адам шашы мен құс қауырсындарынан микротолқынды сәулелену арқылы кератин гидролизін жүргізді.

Гидролиздің оңтайлы шарттары [PSmim]HSO₄ концентрациясы – 2 моль/л, микротолқынды сәулелену уақыты 3 сағ, жүннің қатты және сұйық фазаларының иондық сұйықтыққа қатынасы 1:10, микротолқынды қуаты 300 Вт, нәтижесінде жүннің соңғы гидролизі 98% - дан асты. Иондық сұйықтықтың ісіну әсері [PSmim]HSO₄ және зерттеуге байланысты басқа кинетикалық процестер зерттелді. Дәстүрлі күшті қышқылдан алынған гидролизаттарды иондық сұйықтықты қолдану арқылы алынған гидролизат өнімімен салыстыру жүргізілді. Осылайша гидролиздің жоғары дәрежесіне қол жеткізуге болады. Сондай-ақ, әдіс экологиялық таза, экономикалық тұрғыдан арзан және тиімді.

Кератиннен ақуыз алу. Мақалада [19] ақуыздар жоғары қысымды микротолқынды технологиямен және тағамдық қышқылдармен қой жүнінен алу арқылы кератиннен алынғаны атап өтілген. Нәтижесінде қойдың жүнінен алынған кератин құрамындағы ақуыздың (86%), аминқышқылды цистеиннің (8,8г/100г) және элементар селеннің (0,29 мкг/г) мөлшерлік пайызы мен салмағы туралы мәліметтер алынды. Зерттеу көрсеткендей қой жүнінен алынған кератинді тамақ өнеркәсібінде майсыз және көмірсусыз диеталық ақуыз ретінде қолдануға болады [20].

Кератинді қолдану. Жүннен алынған кератин қалдықтары көп қабырғалы көміртекті нанотүтікшелермен, наноглиндермен және целлюлоза нанофибрлерімен нығайтылған жоғары функционалды композициялық тоқыма талшықтары сияқты экологиялық таза кератин негізіндегі материалдарды өндіруге жарамды болуы мүмкін [7]. Мұндай материалдарды қолданудың әлеуетті бағыттары жараларды емдеуге арналған биоматериалдар саласында [15], құрылыс және тіндік инженерияда [9], биопластика, иістерді сіңіретін тоқыма бұйымдары, сүзуге арналған тоқыма бұйымдары [19], дауылға төзімді шатыр сияқты құрылыс материалдарын салуға және өндіруге арналған биокөмposиттер, арамшөптермен күресуге арналған агротекстильдер және т.б. қарастырылған.

Сульфат гентамицинді антибиотиктер мен тігілетін альгинатты диальдегидтен жасалған поливинил спирті кешені бар кератин жақтауы тіндік инженерия саласында жараларды емдеу және дәрі-дәрмектерді жеткізу құралы ретінде қолдануды тапты, сонымен қатар перспективалы нәтижелер көрсетті [19]. Адамның шашындағы кератин, карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) және клиндамициннен алынған бактерияға қарсы жара таңғышы бактериялардың өсуін тежеуге әсер етуі мүмкін екенін көрсетті [23]. Жүн кератинінің полимерлеу және өзін-өзі құрастыру қабілеті бар. Бұл қабілеттер өз кезегінде кератинді тіндердің регенерациясында кеңінен қолдануға мүмкіндік береді, одан пленкалар, губкалар және гидрогельдер түрінде әртүрлі формалар жасайды [8]. Кератин материалының биологиялық ыдырауы биологиялық компоненттермен өзара әрекеттесудегі маңызды параметр болып табылады, өйткені бұл оның ыдырау қабілетін анықтайды. Кератин материалының *in vivo* және сәйкесінше *in vitro* штаммдар өсінділерінің ыдырау қабілеті оны тіндік инженерияда кеңінен қолдануға мүмкіндік береді. Мұндай материал ретінде кератин пленкаларын қолдану маңызды [21]. Трипсинмен емдеу кезінде кератин пленкасының баяу деградациясы анықталды. Кератиннің деградациясының төмен жылдамдығына байланысты кератин пленкалары тіндер мен мүшелерді қалпына келтіру үшін тіндік инженерияда өте қолайлы деген болжам бар. Сондай-ақ, кератинде дисульфидті байланыстардың жоғары болуына байланысты оның төмен концентрацияда гидролизге бейім екендігі анықталды [22]. Тіндік инженериядағы кератин биоматериалын зерттеу кезінде кератиннің механикалық қабілеттері анықталды. Кератиннің әртүрлі биоматериалдары қысу, қаттылық, серпімділік және созылу беріктігі сияқты бірнеше механикалық қасиеттерді көрсетті [24]. Кеуекті кератин пленкасы өзінің созылу беріктігін, созылуын және Юнг серпімділік модулін көрсетті. Кератин пленкасы бірнеше рет қысу кезінде жақсы тұрақтылықты және бейтарап рН жағдайында суда қайтымды ісінуді көрсетті. Кератин гидрогелі оның механикалық беріктігі коллагеннен жеті есе көп екенін көрсетті [8].

Кератинді биополимерлерден жасалған пленкалар қазіргі таңда бүкіл әлемде назар аударды. Тағамдардың сапасын сақтау үшін, сақтау мерзімін ұзарту үшін экологиялық қолайлы биоматериал ретінде кератинді пленкалар алынды [24]. Авторлар [25] ет, жемістер мен көкөністер, сондай-ақ сүт өнімдері сияқты тағамдарды орау кезінде мал шаруашылығынан алынатын жанама өнімдерге негізделген пленкалардың сипаттамалары мен қолданылуы талқыланды. Олардың зерттеуі бойынша, биополимерлерден алынған кератинді пленкалар қоршаған ортада тез ыдырайтын, экологиялық таза болып табылады.

Қорытынды

Ғалымдардың соңғы он жылдағы жұмыстары талданғанын білу өте маңызды. Табиғатта шығу тегінен алынған кератинді зерттеудің белсенді тенденциясы айқын байқалады. Жануарлардан алынатын қалдық және жанама өнімдерден алынған кератиндер биологиялық қосымшалар мен биоматериалдарға арналған өте белсенді биомолекулалардың перспективалы тобы болып табылады. Кератиннің табиғатына байланысты ерекше қасиеттері синтетикалық материалдарды адам үшін қауіпсіз және биологиялық ыдырайтын материалдарға ауыстыру мүмкіндігін береді. Сонымен қатар екіншілік шикізатты, яғни мал шаруашылығы қалдықтарын қайта өңдеу жанама өнімнің құндылығын арттырады.

Агроөнеркәсіптік кешендердің тұйық циклінің жалпы экономикасын жақсартатын, биологиялық ыдырайтын қасиетімен ерекшеленетін кератин синтетикалық материалдардың орнына адамзат үшін үйлесімді биоматериалдар алуға мүмкіндігін береді.

Әдебиеттер тізімі

1. Goud V. Keratin Based Bio-composites-A Review. – Asian Text. J. – Vol. 20. – P. 77. – Jun. 2011.
2. Nachionalnaya palata predprinimatelei Respubliki Kazakhstan "Atameken" (2022). Kazakhstanskaya sherst uhodit za bescenok. URL: <https://atameken.kz/ru/news/47701-kazakhstanskaya-sherst-uhodit-za-bescenok>.
3. Ahmad A., Othman I., Tardy B.L., Hasan S.W., Banat F. Enhanced lactic acid production with indigenous microbiota from date pulp waste and keratin protein hydrolysate from chicken feather waste / Bioresour. Technol. Rep. – Vol. 18. – P. 101089. – Jun. 2022, doi: 10.1016/j.biteb.2022.101089.
4. Hu X., Cebe P., Weiss A.S., Omenetto F., Kaplan D. L. Protein-based compositematerials. – Mater. Today. – Vol. 15, iss. 5. – P. 208-215. – May 2012, doi: 10.1016/S1369-7021(12)70091-3.
5. Qiu J., Wilkens C., Barrett K., Meyer A.S. Microbial enzymes catalyzing keratin degradation: Classification, structure, function // Biotechnol. Adv. – Vol. 44. – P. 107607. – Nov. 2020, doi: 10.1016/j.biotechadv.2020.107607.
6. Ferraro V., Anton M., Santé-Lhoutellier V. The “sisters” α -helices of collagen, elastin and keratin recovered from animal by-products: Functionality, bioactivity and trends of application // Trends Food Sci. Technol. – Vol. 51. – P. 65-75. – May 2016, doi: 10.1016/j.tifs.2016.03.006.
7. Esparza Y., Bandara N., Ullah A., Wu J. Hydrogels from feather keratin show higher viscoelastic properties and cell proliferation than those from hair and wool keratins // Mater. Sci. Eng. – C, Vol. 90. – P. 446-453. – Sep. – 2018, doi: 10.1016/j.msec.2018.04.067.
8. Ranjit E., Hamlet S., George R., Sharma A., Love R. M. Biofunctional approaches of wool-based keratin for tissue engineering // J. Sci. Adv. Mater. Devices. – Vol. 7, iss. 1. – P. 100398. – Mar. 2022, doi: 10.1016/j.jsamd.2021.10.001.
9. Lazarus B.S., Chadha C., Velasco-Hogan A., Barbosa J.D.V., Jasiuk I., Meyers M.A. Engineering with keratin: A functional material and a source of bioinspiration // iScience. – Vol. 24, iss. 8, – P. 102798. – Aug. 2021, doi: 10.1016/j.isci.2021.102798.
10. Shibuya K., Tsutsui S., Nakamura O. Fugu, Takifugu rubripes, mucus keratins act as defense molecules against fungi // Mol. Immunol. – Vol. 116, – P. 1-10. – Dec. 2019. doi: 10.1016/j.molimm.2019.09.012.
11. Sun C. et al. Photopolymerized keratin-PGLa hydrogels for antibiotic resistance reversal and enhancement of infectious wound healing // Mater. Today Bio. – Vol. 23. – P. 100807. – Dec. 2023, doi: 10.1016/j.mtbio.2023.100807.
12. W. Huang et al. A natural energy absorbent polymer composite: The equine hoof wall» // Acta Biomater. – Vol. 90. – P. 267-277. – May 2019, doi: 10.1016/j.actbio.2019.04.003.
13. Sarma A. Biological importance and pharmaceutical significance of keratin: A review // Int. J. Biol. Macromol. – Vol. 219. – P. 395-413. – Oct. 2022, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2022.08.002.
14. Ye W., Qin M., Qiu R., Li J. Keratin-based wound dressings: From waste to wealth // Int. J. Biol. Macromol. – Vol. 211. – P. 183-197. – Jun. 2022, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2022.04.216.
15. Qin X. et al. A sustainable and efficient recycling strategy of feather waste into keratin peptides with antimicrobial activity» // Waste Manag. – Vol. 144. – P. 421-430. – May 2022, doi: 10.1016/j.wasman.2022.04.017.

16. Shen Q., Ma Y., Qin X., Guo Y., Zhang C. Steam explosion as a green method to treat animal waste: A mini-review // Process Saf. Environ. Prot. – Vol. 181. – P. 43-52. – Jan. 2024, doi: 10.1016/j.psep.2023.11.012.
17. Qin X. et al. Effect of ultrasound on keratin valorization from chicken feather waste: Process optimization and keratin characterization // Ultrason. Sonochem. – Vol. 93. – P. 106297. – Feb. 2023, doi: 10.1016/j.ultsonch.2023.106297.
18. Li X., Guo Z., Li J., Yang M., Yao S. Swelling and microwave-assisted hydrolysis of animal keratin in ionic liquids // J. Mol. Liq. – Vol. 341. – P. 117306. – Nov. 2021, doi: 10.1016/j.molliq.2021.117306.
19. Dias G.J., Haththotuwa T.N., Rowlands D.S., Gram M., Bekhit A.E.-D.A. Wool keratin – A novel dietary protein source: Nutritional value and toxicological assessment // Food Chem. – Vol. 383. – P. 132436. – Jun. 2022, doi: 10.1016/j.foodchem.2022.132436.
20. Zhou J., Li D., Zhang X., Liu C., Chen Y. Valorization of protein-rich waste and its application // Sci. Total Environ. – Vol. 901. – P. 166141, Nov. – 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.166141.
21. Pakdel M., Moosavi-Nejad Z., Kermanshahi R.K., Hosano H. Self-assembled uniform keratin nanoparticles as building blocks for nanofibrils and nanolayers derived from industrial feather waste // J. Clean. Prod. – Vol. 335. – P. 130331. – Feb. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.130331.
22. Mohamed J.M. et al. Human Hair Keratin Composite Scaffold: Characterisation and Biocompatibility Study on NIH 3T3 Fibroblast Cells // Pharmaceuticals. – Vol. 14. – iss. 8. – 2021, doi: 10.3390/ph14080781.
23. Sadeghi S., Nourmohammadi J., Ghaee A., Soleimani N. Carboxymethyl cellulose-human hair keratin hydrogel with controlled clindamycin release as antibacterial wound dressing // Int. J. Biol. Macromol. – Vol. 147. – P. 1239-1247. – Mar. 2020, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.09.251.
24. Fadeyibi A. Chapter 11 – Production of smart packaging from sustainable materials // Green Sustainable Process for Chemical and Environmental Engineering and Science, Inamuddin, T. Altalhi, J. Neves Cruz, edit., Elsevier. – 2023. – P. 185-196. doi: 10.1016/B978-0-323-95644-4.00006-1.
25. Thakur R. et al. Characteristics and application of animal byproduct-based films and coatings in the packaging of food products // Trends Food Sci. Technol. – Vol. 140. – P. 104143. – Oct. 2023, doi: 10.1016/j.tifs.2023.104143.

М.Д. Султан^{1*}, Ж.Б. Оспанова¹, К.Б. Мусабеков¹, Т.Е. Кенжебаев², П. Тахистов³

¹Казахский Национальный университет им. аль-Фараби

050040, Республика Казахстан, г. Алматы, просп. Аль-Фараби, 71

²ТОО «Казахский научно-исследовательский институт животноводства
и кормопроизводства»

050035, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Жандосова 51

³Государственный Университет Нью-Джерси – Ратгерский университет
08901 NJ, Соединенные Штаты Америки, Нью-Брансуик, 65 ул. Дадлей

*e-mail: bolatovameruert@gmail.com

СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ КЕРАТИНА ИЗ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА (обзорная статья)

Аннотация. В статье предоставлен обзор литературы свойств кератиносодержащего сырья из отходов животноводства среди исследовании ученых за последние десятилетия и показана важная роль кератина и белков для различных областей применения. В данном обзоре рассматриваются состав и типы кератина, сферы применения, функции кератина, распространения в животноводстве и рыбоводстве. Важно отметить что кератин широко применяется в биомедицине, тканевой инженерии, биопластике, для производства текстиля, биокomпозитов, в строительстве и производстве строительных материалов. В данной статье описываются физические и химические свойства и раскрываются преимущества кератина, такие как биоразлагаемость, механические способности, устойчивость температурным режимам и теплопроводность. Кератиновый гидролизат можно синтезировать из разного сырья, таких как шерсть, волосы, перо птиц, используя различные методы: методом экстракции окислительной и восстановительной, а так же

экстракции паровым взрывом. Экстрагированный кератин произвел повышенный интерес для его изучения и исследования в медицинских целях, а точнее первые инновационные открытия получены в области косметики, покрытии для лекарств и волокон. Кератин, извлеченный из отходов животного происхождения, представляют собой многообещающую активную биомолекулу для биологических и биоматериальных применений. Исключительные свойства, которыми обладает кератин передают в силу своей природы, открывают возможность замены синтетических материалов на биоматериалы более совместимые для человека и биоразлагаемыми, что может улучшить общую экономику замкнутого цикла агропромышленных комплексов.

Ключевые слова: кератин, шерсть, биополимер, гидролиз, белок, α -кератин, β -кератин.

M.D. Sultan^{1*}, Zh.B. Ospanova¹, K.B. Musabekov¹, T.E. Kenzhebaev², P. Takhistov³

¹Al-Farabi Kazakh National University

050040, Republic of Kazakhstan, Almaty, 71 Al-Farabi Avenue

²LLP «Kazakh research institute of livestock and fodder production»

050035, Republic of Kazakhstan, Almaty, 51 Zhandosov street

³Rutgers, The State University of New Jersey

08901 NJ, United States of America, New Brunswick, 65 Dudley Road

*e-mail: bolatovameruert@gmail.com

PROPERTIES AND APPLICATIONS OF KERATIN FROM THE WASTE OF ANIMAL-FARMING (review article)

The study aims to provide a modern overview of the properties of keratin-containing raw materials from animal waste among the research scientists over the past decades and to show the important role of keratin in science. This review examines the composition and types of keratin, the scope of application, the functions of keratin, distribution in animal husbandry and fish farming, as well as in mammals. It is important to note that keratin is widely used in biomedicine, tissue engineering, bioplastics, textiles, biocomposites in construction and building materials. This article reveals the physical and chemical properties and advantages of keratin, such as biodegradability, mechanical abilities, resistance to temperature conditions and thermal conductivity. Keratin can be synthesized from different raw materials, such as wool, hair, bird feathers, using different methods. The extraction method can be of several types: oxidative and reducing, as well as extraction by steam explosion. Extracted keratin has generated increased interest for its study and research for medical purposes, or rather the first innovative discoveries were made among cosmetics, coatings for medicines and fibers. Keratin extracted from animal waste represents a promising active biomolecule for biological and biomaterial applications. The exceptional properties that keratin transmits by virtue of its nature open up the possibility of replacing synthetic materials with biomaterials more compatible with humans and biodegradable, which can improve the overall economy of the closed cycle of agro-industrial complexes.

Key words: keratin, wool, biopolymer, hydrolysis, protein, α -keratin, β -keratin.

Авторлар туралы мәліметтер

Меруерт Дәуренқызы Султан* – Аналитикалық, коллоидтық химия және сирек элементтер технологиясы кафедрасының докторанты; Алматы қаласының әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Қазақстан; e-mail: bolatovameruert@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2453-3042>.

Жанар Бесембаевна Оспанова – Аналитикалық, коллоидтық химия және сирек элементтер технологиясы кафедрасы меңгерушісінің ғылыми-инновациялық жұмыс және халықаралық байланыстар жөніндегі орынбасары, доцент; Алматы қаласының әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Қазақстан; e-mail: zhanospan@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3920-8100>.

Куанышбек Битуович Мусабеков – Аналитикалық, коллоидтық химия және сирек элементтер технологиясы кафедрасының профессоры; Алматы қаласының әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Қазақстан; e-mail: Musabekov40@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1114-1901>.

Темірхан Ердешұлы Кенжебаев – Жіңішке жүнді қой шаруашылығы өнімдерін өндіру секторының аға ғылыми қызметкері; ЖШС "Қазақ мал шаруашылығы және жемшөп өндіру ғылыми-зерттеу институты", Қазақстан Республикасы; e-mail: kterdesh@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6634-4189>.

Павел Тахистов – Тамақтану Ғылымдары факультетінің Тамақ Инженериясы кафедрасының доценті, PhD; Нью-Джерси қаласының Ратгерс Мемлекеттік Университеті, АҚШ; e-mail: ptakhist@sebs.rutgers.edu. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8797-709X>.

Сведения об авторах

Меруерт Дәуренқызы Султан* – докторант кафедры аналитической, коллоидной химии и технологии редких элементов; Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби города Алматы, Республика Казахстан; e-mail: bolatovameruert@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2453-3042>.

Жанар Бесембаевна Оспанова – заместитель заведующей кафедры по научно-инновационной работе и межд.связям, доцент кафедры аналитической, коллоидной химии и технологии редких элементов; Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби города Алматы, Республика Казахстан; e-mail: zhanospan@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3920-8100>.

Куанышбек Битуович Мусабеков – профессор кафедры аналитической, коллоидной химии и технологии редких элементов; Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби города Алматы, Республика Казахстан; e-mail: Musabekov40@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1114-1901>.

Темірхан Ердешұлы Кенжебаев – старший научный сотрудник сектора производства продуктов тонкорунного овцеводства; ТОО «Казахский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства», Республика Казахстан, e-mail: kterdesh@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6634-4189>.

Павел Тахистов – доцент кафедры пищевой инженерии факультета пищевых наук, PhD, Ратгерский государственный университет Нью-Джерси, США; e-mail: ptakhist@sebs.rutgers.edu. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8797-709X>.

Information about the authors

Meruyert Sultan* – PhD student of the Department of Analytical, Colloid Chemistry and Technology of Rare Elements; Al-Farabi Kazakh National University of Almaty, Kazakhstan, e-mail: bolatovameruert@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2453-3042>.

Zhanar Ospanova – Deputy Head of the Department for Scientific and Innovative Work and International relations.connections, Associate Professor of Department of Analytical, Colloid Chemistry and Technology of Rare Elements; Al-Farabi Kazakh National University of Almaty, Kazakhstan, e-mail: zhanospan@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3920-8100>.

Kuanyshbek Musabekov – Professor of the Department of Analytical, Colloid Chemistry and Technology of Rare Elements; Al-Farabi Kazakh National University of Almaty, Kazakhstan, e-mail: Musabekov40@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1114-1901>.

Temirkhan Kenzhebaev – Senior Researcher in the sector of production of fine-wool sheep products; Kazakh Scientific Research Institute of Animal Husbandry and Feed Production LLP of Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: kterdesh@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6634-4189>.

Paul Takhistov – Associate Professor of Food Engineering at the Department of Food Science, PhD, Rutgers the State University of New Jersey, USA; e-mail: ptakhist@sebs.rutgers.edu. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8797-709X>.

Материал 13.12.2023 ж. баспаға түскі.