



ХҒТАР 29.19.22

<https://doi.org/10.32523/2616-6836-2025-151-2-136-157>

Ғылыми мақала

Мырыш кешенді қосылыстарының сипаттамасы, синтездеу әдістері және құрылымдық-фазалық қасиеттерін зерттеу

С.А. Пазылбек^{1,2}, А. Карейва¹, Б.Е. Жакипбаев³, Д.К. Ескермесов⁴,
Б.З. Әбдіқадыр⁵, М.Т. Катбаева², У.А. Муратбекова⁵, Ж.К. Алипбекова⁶,
Ж.Т. Төлеуханова^{*4}

¹Вильнюс университеті, Вильнюс, Литва

²Ж.А. Тәшенев атындағы Университет, Шымкент, Қазақстан

³Академик Ә. Қуатбеков атындағы Халықтар достығы университеті, Шымкент, Қазақстан

⁴Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан

⁵Ө. Жәнібеков атындағы Оңтүстік Қазақстан педагогикалық университеті, Шымкент, Қазақстан

⁶М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

(E-mail: ztoleukhanova@ektu.kz)

Аңдатпа. Бұл жұмыста аминқышқылдары бар мырыш кешендерін алу-дың: суда синтезделген $\text{Zn}(\text{Gly})_2$, суда және органикалық ортада синтезделген $\text{Zn}(\text{Pro})_2$ әртүрлі әдістері қарастырылды. Алынған қосылыстардың элементтік құрамы SEM-EDX әдісімен анықталып, ол бастапқы материал ретінде ZnCl_2 көмегімен синтезделген қосылыстарда реакциялардың пре-курсорлары бар екенін көрсетті. Рентгендік құрылымдық талдау аз мөл-шерде прекурсорлық қоспалары бар фазалық таза өнімдердің түзілуін көрсетті. ИҚ-Фурье спектроскопиясы қосылыстардың функционалды топтарын анықтауға мүмкіндік беріп, FTIR спектрлері бойынша оттегі мен сутегі арасындағы байланыс мырыш пен оттегі арасындағы коорди-нациялық байланыспен алмастырылатыны анықталды, ал шыңдардың үлкен немесе кіші толқындық сандарға ауысуы мырыш пен азот арасын-дағы координациялық байланыстың түзілуін дәлелдейді. SEM-суреттері әртүрлі әдістермен синтезделген қосылыс бөлшектерінің мөлшері мен пішінін анықтауға мүмкіндік берді. Органикалық ортада синтезделген күрделі мырыш-пролин кешенінің бөлшектері суда синтезделген бөлшек-терден айтарлықтай аз екенін көрсетті. Термогравиметриялық талдау $\text{Zn}(\text{Gly})_2$ қосылысында кристалдану суы бар екенін көрсетті, ал $\text{Zn}(\text{Pro})_2$ қосылысы ылғалданбаған. $\text{Zn}(\text{Gly})_2$ коммерциялық косметикалық өнімге (сарысу) консервант ретінде енгізілді. Мырыш-глицин кешені косметика-лық өнімдерді *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *E. coli* және *Candida albicans*-тен тиімді микробқа қарсы қорғауды, тіпті мырыш-гли-цин кешенінің ең төменгі концентрациясында (0,3%) да қамтамасыз етті.

Жіберілді 27.05.2025. Өзгертілді 31.05.2025. Қабылданды 02.06.2025. Онлайн қол жетімді 25.06.2025.

¹ *хат-хабар авторы

Aspergillus brasiliensis-ке қарсы мырыш-глицин кешені байқалмады, яғни бұл микроорганизмдердің колонияларының азаюы байқалмады немесе жеткіліксіз болды. Құрамында мырыш-глицин кешені бар косметикалық композицияларға фунгицидтік қасиеттері бар теріге пайдалы тағы бір ингредиентті қосу мақсатты консерванттарды пайдаланбайтын косметикалық өнімдерді жасау мүмкіндігін айқындады.

Түйін сөздер: мырыш-глицин, $\text{Zn}(\text{Gly})_2$, $\text{Zn}(\text{Pro})_2$, SEM-EDX, FTIR спектрі

Кіріспе

Косметика өнеркәсібі әлемдегі ең бәсекеге қабілетті салалардың бірі болып табылады және оның толып жатқан нарығы өндірушілерді тұтынушылардың қажеттіліктері мен үміттерін қанағаттандыру үшін үнемі жаңа өнім формулалары мен инновациялық шешімдерді іздеуге мәжбүр етеді. Соңғы уақытта тұтынушылар косметиканың құрамына, белсенді заттарға, ингредиенттерге көбірек қызығушылық танытуда. Тұтынушылар белгілі бір брендті емес, ингредиентті және оның өнімдегі концентрациясын жиі таңдайды [1-4].

Косметикалық өнімнің құрамындағы кейбір ингредиенттердің болуы немесе болмауы косметикалық өнімді сатып алу кезінде тұтынушының шешімін анықтай алады. Осыған феноксизтанол консерванты жақсы мысал бола алады, ол туралы әр түрлі жерлерде көптеген негізсіз теріс және әрдайым дұрыс емес ақпарат бар. Бұл косметика өнеркәсібіндегі ең жақсы теріге төзімді және ең тиімді консерванттардың бірі болып табылады. Феноксизтанол Еуропалық Одақта косметикалық рецепт бойынша қауіпсіз (1% дейін) ингредиент болып саналады және тіпті балаларға арналған өнімдерде қолдануға рұқсат етіледі. Феноксизтанолды әр түрлі сарысулар мен кремдерде ғана емес, сонымен қатар тіс пастасында, нәрестелерге арналған дымқыл майлықтарда қолданып және т.б. [5, 6] көптеген сұраныстар түскені белгілі. Компания тұтынушылардың пікірін тыңдап, оны көптеген өнімдерінен алып тастады. Косметика өнеркәсібінде қолданылатын басқа да негізді / негізсіз зиянды консерванттармен ұқсас жағдай: парабендер, диазолидинилмочевина, имидазолидинилмочевина, 2-бром-2-нитропропан-1,3-диол, хлорфенезин, триклозан. Косметикалық өнімдерді микробиологиялық ластанудан қорғаудың "Достық" баламалары қажет [7-12].

Құрамында мырыш бар қосылыстар көбінесе косметикалық өнімдердің құрамына белсенді немесе көмекші заттар ретінде қосылады. Мырыш қосылыстарының белгілі қасиеттері-олардың микробқа қарсы белсенділігі, май секрециясын тежеу болып табылады. Осы қасиеттерінің арқасында мырыш косметикалық және медициналық өнімдерде безеу, қайызғақ, дерматит, псориаз немесе экзема сияқты тері ауруларын/бұзылуларын емдеу үшін қолданылады [13]. Мырыш оксиді сонымен қатар минералды күннен қорғайтын кремдер мен сәндік косметиканың танымал ингредиенті болады. Косметика өнеркәсібінде әртүрлі мырыш қосылыстарын пайдалану жаңалық болмаса да, теріге пайдалы әртүрлі мырыш қосылыстарын табу әлі де жалғасуда [13]. Олардың

кейбіреулері мырыш пен аминқышқылдарының күрделі қосылыстары болып саналады. Адам терісінің коллагенін құрайтын негізгі амин қышқылы-глицинмен ($\text{Zn}(\text{Gly})_2$) және пролинмен ($\text{Zn}(\text{Pro})_2$) координациялық күрделі мырыш қосылыстары - косметикалық препараттарда өте сирек кездеседі. Мырыш-глицин кешені рецептурада қолдануға жарамды болғанымен, тым қымбат және оны жеткізушілер аз. Сонымен қатар, мырыш-пролин кешені әлі күнге дейін косметикалық формулаларда қолдануға рұқсат етілген ингредиенттер тізіміне енгізілмеген [14]. Бұл қосылыстар мырыш қосылыстарына тән қасиеттерімен ғана емес (микробқа қарсы белсенділік, майды бақылау), сонымен қатар глицин мен пролиннің пайдалы микробқа қарсы қасиеттерімен (тері коллагенін синтездеуге, терінің регенерациясы мен жазылуын ынталандыруға арналған құрылыс және стимуляторлық заттар) пайдалы болуы мүмкін [15]. Бұл кешендер қамтамасыз ете алатын ең маңызды нәрсе – бұл теріге пайдалы қасиеттер ғана емес, сонымен қатар өнімді микробиологиялық ластанудан қорғау – сақтау. Косметикалық өнімнің рецептурасына осы қосылыстардың тиісті концентрациясын таңдау және енгізу арқылы консерванттарды қолданудан аулақ болуға болады, бұл өнімнің өзін пайдалы ғана емес, сонымен қатар талғампаз тұтынушы үшін тартымды етеді.

Зерттеудің мақсаты ретінде мырыш-глицин және мырыш-пролин кешенді қосылыстарын синтездеу, коммерциялық синтез үшін синтездеу әдістерінің қолданылуын бағалау, синтезделген мырыш кешенді қосылыстарының косметикалық формулаларда көпфункционалды ингредиенттер (белсенді компонент және консервант) ретінде қолдануға жарамдылығын зерттеу.

Әдіснама

Металдардың үйлестіру химиясы контекстінде «кешен» немесе «күрделі қосылыс» термині лигандтармен қоршалған орталық металл атомын немесе ионын білдіреді [16-17]. Бұл дегеніміз орталық атом, бұл жағдайда мырыш, лигандтар деп аталатын қарама-қарсы белгінің бірнеше басқа молекулаларымен (аминқышқылдары) координациялық байланыс арқылы байланысады. Орталық атом-электронды акцептор, ал лигандтар-координациялық байланыс құру үшін берілуі мүмкін кем дегенде бір бос электрон жұбы бар электронды донорлар [18] болады. Zn^{2+} иондары үшін бос электронды жұптарды қабылдау қабілетінің арқасында мырыш әртүрлі лигандтармен комплекстер түзе алады. Комплекс түзілу реакциясында Zn^{2+} Льюис қышқылының рөлін атқарады, ал лигандтар Льюис негіздері болып табылады. Орталық металл ионына тікелей қосылған лигандтар кешеннің бастапқы координациялық сферасын құрайды және олардың саны орталық металл атомының координациялық саны деп аталады [17]. Бұл қосылыстарда Zn^{2+} координациялық саны 4 болады [13]. Көбінесе кешендерде катионның айналасында бірнеше амин қышқылы молекулалары болады. Лигандтардың орналасуы симметриялы болуы мүмкін, яғни катион инверсияның ортасында, ал аминқышқылдарының молекулалары бір-бірімен симметриялы байланысқан. Аминқышқылдары өте әмбебап лигандтар болып табылады, өйткені әрбір молекулада лигандтың қосылу атомдары ретінде әрекет ете алатын кем дегенде үш жоғары электрлік теріс атом (карбоксил

тобындағы екі оттегі атомы және амин тобындағы бір азот атомы) болады. Сондықтан әрбір амин қышқылы молекуласы катионмен бірнеше жолмен байланыса алады: монодентат, бидентат немесе тридентат лиганд ретінде [19]. Әдебиеттерде әдетте әрбір амин қышқылы-лиганд орталық атомның координациялық сферасында екі орынды иеленуі мүмкін – мырыш пен азот және мырыш пен оттегі арасында донорлық-акцепторлық байланыс түзетіні атап өтіледі [20]. Екі қосылу нүктесі бар мұндай лигандтар бидентат деп аталады [17]. Алынған күрделі қосылыстың сыртқы сферасы жоқ, өйткені орталық ионның оң заряды ішкі сферадағы лигандтың теріс зарядтарымен өтеледі. Сондықтан барлық күрделі қосылыс электронды бейтарап және ішкі кешен деп аталады [20].

Ішкі кешендердің тұрақтылығы сыртқы сфераның болмауымен де, орталық атомның екі лигандтан тұратын циклдік құрылымда болуымен де анықталады. Байланыстардың беріктігі кешеннің ерітіндіде іс жүзінде диссоциацияланбайтындығын анықтайды. Егер қандай да бір процесс барысында орталық атом мен лигандтар арасындағы байланыс үзілсе, кешен ыдырайды, егер жоқ болса, онда кешен тұрақты болып қалады [19]. Аминқышқылдарының молекулалары кешендердің жалғыз мүмкін лигандтары емес. Егер ерітінділерде басқа аниондар болса (мысалы, галогенидтер), олар қосымша лигандтар ретінде әрекет ете алады [19]. Күрделі қосылысты ерітіндіден кристалдану арқылы оқшаулауға болады. Бұл ерітіндіден қатты зат алу үшін кешен түзілгеннен кейінгі екінші кезең болып табылады [20].

Синтез әдістері. Күрделі қосылыстардың синтезі суда да, органикалық ортада да жүзеге асырылуы мүмкін. Кристалдану кезінде қатты заттар (кристалдар) басқа фазадан, әдетте ерітіндіден немесе балқымадан түзілетін процесс. Бұл процесс еріген заттың немесе алынған қосылыстың еріткіште ерігіштігі қандай да бір жолмен төмендегенде, әдетте салқындату, еріткіш-еріткіш қосу, еріткіштің бір бөлігін буландыру немесе химиялық реакция арқылы заттардың тұнбасы арқылы жүреді [21]. Кристалдану әдісі қажетті нәтижелерге қол жетімді жабдыққа, сондай-ақ таңдалған еріткіштегі ерігіштігі мен тұрақтылығына байланысты таңдалады. Бастапқыда қатты агрегаттық күйдегі прекурсорлар толығымен температура көтерілген кезде еріткіште ериді. Ерімейтін қоспаларды ыстық ерітіндіден сүзуге болады. Әрі қарай, салқындату немесе булану кезінде ерігіштік төмендейді, ерітінді қаныққан болады және өнім кристалданады. Ерігіштік төмендеген сайын кристалдар түзіліп, содан кейін өсетін нүктеге жетеді. Қатты өнімнің максималды мөлшерін алу үшін жүйе тепе-теңдікке жетуі керек. Әрі қарай өнім сүзіліп, кептіріледі. Кристалдардың өлшемдері бойынша таралуын тиісті кристалдану шарттары мен процесс параметрлерін мұқият таңдау арқылы оңтайландыруға және бақылауға болады. Су көбінесе сулы ерітінділерден кристалдардың пайда болуына қатысады. Кристалдану суы-металл кешенінің кристалдық құрылымында немесе металл катионымен тікелей байланыспаған тұзда болатын су молекулалары болып табылады. Кристалдану суын әдетте үлгіні қыздыру арқылы жоюға болады, бірақ қосылыстың кристалдық қасиеттері жиі жоғалады. Үлгідегі кристалдану суының мөлшерін термогравиметриялық талдау әдісімен анықтауға болады [22].

Судағы кешендердің синтезі. Реакция қарапайым шыны ыдыстар мен еріткіштерді қолдана отырып, қарапайым жағдайда жүреді. Аминқышқылдарының металл

кешендері суда еритін тұзынан алынған бос металл иондарының 1:2 қатынасындағы амин қышқылдарымен әрекеттесуі арқылы синтезделді [23-24]. Кешендер мырыштың бастапқы негізі ретінде $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COOH})_2$ көмегімен синтезделеді. Авторлардың әдістемесі бойынша реакциялық ерітінді жоғары температурада қыздырылды, содан кейін күрделі қосылыс кристалдарын қалыптастыру үшін баяу буланды. Мырыш оксиді (ZnO) – косметикада кеңінен қолданылатын суда жақсы ерімейтін зат (2 мг/мл (20°C)). Дегенмен, ол күшті қышқылдарда еріп Zn^{2+} иондарын түзеді. Дезодорант құрамының патентінде көрсетілген күрделі мырыш қосылысын алу тәсілі реакция теңдеуі бойынша ерітіндіні жоғары температурада қыздыру арқылы ZnO -ның амин қышқылымен әрекеттесуі болып табылады: $\text{ZnO} + 2(\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}) \rightarrow (\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COO})_2\text{Zn} + \text{H}_2\text{O}$ (2). Реакцияланбаған ZnO сүзгіден өткізіліп, ерітіндіні кристалдануға қалдырылады [25].

Органикалық ортада мырыш-пролин кешенінің синтезі. Органикалық ортада талданатын аминқышқылдары бар кешендердің синтезі пролин жағдайында ғана мүмкін болады. Синтез барлық аминқышқылдарына қолданылмайды, өйткені олардың органикалық ортада ерігіштігі әртүрлі. Глицин функционалды топтардың полярлығына байланысты органикалық еріткіштерде нашар ериді [26]. $\text{Zn}(\text{Pro})_2$ – суда еритін, бірақ органикалық еріткіштердің көпшілігінде ерімейтін тиімді, тұрақты, арзан, улы емес Льюис қышқылының катализаторы болып табылады [27]. Ол сонымен қатар әртүрлі органикалық реакцияларды катализдей алады [28].

Материалдар мен реагенттер

Тәжірибелерде келесі реагенттер: глицин, $\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2$ (99,0%, Chempur); L-пролин $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_2$ (99,0%, Eurochemicals); мырыш хлориді ZnCl_2 (Eurochemicals); мырыш оксиді ZnO (Eurochemicals); мырыш ацетаты дигидраты $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (99,5%, Chempur); триэтиламин $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{N}$ (Eurochemicals); метанол CH_3OH (99,9%, Poch S.A.); мырыш глицинат моногидраты $\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_4\text{Zn} \cdot \text{H}_2\text{O}$ (>97,0%, Eurochemicals) қолданылды.

№1 синтез, $\text{Zn}(\text{Gly})_2$. 1,2762 г (0,017 моль) глицин және 1,1584 г (0,0085 моль) ZnCl_2 5 мл ионсыздандырылған суда ерітілді. Қоспа 1 сағат бойы қарқынды араластыру арқылы 40°C температурада қыздырылды. Осыдан кейін мөлдір ерітінді тоңазытқышта (2-8°C) бір аптаға қойылды. Бір аптадан кейін пайда болған кристалдар сүзіліп, екі күн бойы 60°C температурада кептіріліп алынды.

№2 синтез, $\text{Zn}(\text{Gly})_2$. 2,5524 г (0,034 моль) глицин және 2,3169 г (0,017 моль) ZnCl_2 5 мл ионсыздандырылған суда ерітіліп, қоспасы қатты араластырылу барысында 60°C температурада 1 сағат бойы қыздырылды. Алынған кристалдар екі күн бойы 60°C температурада сүзіліп, кептіріліп алынды.

№3 синтез, $\text{Zn}(\text{Gly})_2$. 8,2577 г (0,11 моль) глицин ерітіп алынды. 75 мл ионсыздандырылған су мен мөлдір ерітіндіге 4,0690 г (0,05 моль) ZnO қосылды. Қоспаны қатты араластыру арқылы және 88°C температурада 30 минут қыздырылды. Ерімеген ZnO пайда болған кешен кристалдана бастағанға дейін сүзілді. Мөлдір ерітінді 0°C температурада салқындату үшін қалдырылды. Алынған кристалдар 12 сағат ішінде 50°C -та сүзіліп, кептірілді.

№4 синтез, $Zn(Gly)_2$. Алдымен мырыш гидроксиді синтезделді ($Zn(OH)_2$). 44 мл (1 моль) NaOH ерітіндісі дайындалды. Содан кейін бұл ерітіндіге 3 г (0,0220 моль) $ZnCl_2$ қосылды. Ақ тұнба бірден түзілу байқалады. Реакция қоспасы магниттік араластырғышта шамамен бір сағат бойы қатты араластырылды. Содан кейін тұнба сүзіліп, суық сумен жуылады және түні бойы ауада кептіріледі. 0,1988 г (2 ммоль) бұрын синтезделген $Zn(OH)_2$ 30 мл тазартылған суда дисперсияланады. Бөлек стаканда 0,3002 г (4 ммоль) глицин 20 мл тазартылған суда ерітіледі. Алынған мөлдір ерітінді дисперсияға құйылады және реакция қоспасы коллоид мөлдір болғанша бірнеше минут бойы 50°C температурада араластырылады. Содан кейін реакция қоспасын екі сағат бойы араластыруға рұқсат етіледі. Алынған ақ материал сүзіледі. Қалған мөлдір ерітінді бастапқы көлемнің үштен біріне дейін буланып, кристалдануға қалдырылады. 1-3 күннен кейін түскен ақ реакция өнімі сүзіліп, ауада кептіріледі.

№1 синтез, $Zn(Pro)_2$. Химиялық стаканға 10 мл метанол, 0,4997 г (4,34 ммоль) L-пролин және 0,6 мл триэтиламин қосылады. Ерітінді 10 мин араластырылады, содан кейін бөлме температурасында 0,4763 г (2,17 ммоль) мырыш ацетаты дигидраты ($Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$) қосылады. Реакция қоспасы магниттік араластырғышта 45 минут араластырылады, содан кейін ақ тұнба сүзіледі, метанолмен жуылады және 50°C температурада кептіріледі.

№2 синтез, $Zn(Pro)_2$. 12,6643 г (0,11 моль) L-пролин 75 мл ионсыздандырылған суда ериді. Мөлдір ерітіндіге 4,0690 г (0,05 моль) ZnO қосылады. Қоспа қатты араластырылады және 88°C температурада 30 минут қыздырылады. Ерімеген ZnO сүзіледі. Мөлдір ерітінді бастапқы көлемнің үштен біріне дейін баяу буланып, 0°C кезінде салқындауға қалдырылады. Алынған кристалдар 50°C температурада сүзіледі және кептіріледі.

№3 синтез, $Zn(Pro)_2$. 0,1988 г (2 ммоль) бұрын синтезделген $Zn(OH)_2$ 30 мл тазартылған суға ыдырайды. Бөлек стаканда 0,4605 г (4 ммоль) пролинді 20 мл тазартылған суда ерітіледі. Алынған мөлдір ерітінді дайындалған мырыш гидроксиді коллоидына құйылады және реакция қоспасы коллоид мөлдір болғанша бірнеше минут бойы 50°C температурада араластырылады. Содан кейін реакция қоспасын екі сағат бойы араластыруға рұқсат етіледі. Алынған ақ материал сүзіледі. Қалған мөлдір ерітінді бастапқы көлемнің үштен біріне дейін буланып, кристалдануға қалдырылады. 1-3 күннен кейін тұнған ақ қатты өнім сүзіліп, ауада кептіріледі.

Рентгендік құрылымдық талдау (XRD) Rigaku MiniFlexII дифрактометрінің көмегімен жүргізілді. Өлшеу $CuK\alpha_1$ сәулеленуімен үлгілерді жарықтандыру кезінде 5 градус/мин жылдамдықпен жүргізілді. SEM-нің суреттері Hitachi SU-70 сканерлейтін электронды микроскоптың көмегімен алынды. Энергиялық дисперсиялық спектроскопиялық (EDX) талдау вакуумдағы Hitachi-TM3000 сканерлеуші электронды микроскопында үлгілер көміртекті пленкаға бекітіліп жүргізілді. Фурье түрленуімен инфрақызыл спектроскопиялық (FTIR) талдау 4000-450 cm^{-1} диапазонындағы алмаз ұяшығындағы Bruker Alpha спектрометрінің көмегімен жүргізілді. TGA талдауы N_2 атмосферасындағы Perkin Elmer STA 6000 термоанализаторын қолдана отырып, температурасы 10 °C/мин жылдамдықпен көтеріліп 25-400°C температура диапазонында алынады.

Нәтижелер және талқылау

Жұмыс барысында мырыш-глицин және мырыш-пролин күрделі қосылыстары әртүрлі әдістермен синтезделді. Оларды синтездеу кезінде коммерциялық масштабта көбейтуге болатын синтез процесінің қарапайымдылығы, зиянды прекурсорларды/еріткіштерді пайдаланбау, синтезделген кешеннің тазалығы басым болды. Алынған қосылыстарды талдаудың мақсаты олардың құрылымын анықтау, олардың ең тазалығын коммерциялық косметикалық өнімнің рецептурасына енгізу және оның көпфункционалды ингредиент (белсенді ингредиент + консервант) ретінде жарамдылығын растау болды.

SEM (EDX)-талдау. Реакциялардың прекурсорларының болуын анықтау үшін синтезделген қосылыстарға элементтік талдау жүргізілді. Негізгі элемент-мырыш болып, талдаудан кейін элементтердің қысқаша мазмұны келесі элементтерді тапты: С, Al, О, Н, N. Алайда ұсынылған кестеден олар алынып тасталды, өйткені көміртегі қосылыстар бекітілген көміртекті пленкада және алюминий үлгі ұстағышында (науасында) бар екендігі ескеріліп, оттегі, азот және сутегі туралы шыққан мәліметтер сенімсіз деп танылды. Сондықтан нәтижелерді салыстыру үшін алдағы зерттеулерде басқа да әдістермен (мысалы, XPS немесе CHN талдауы) растау қарастырылған. Синтезделген қосылыстардағы элементтердің пайызы 1-кестеде келтірілген.

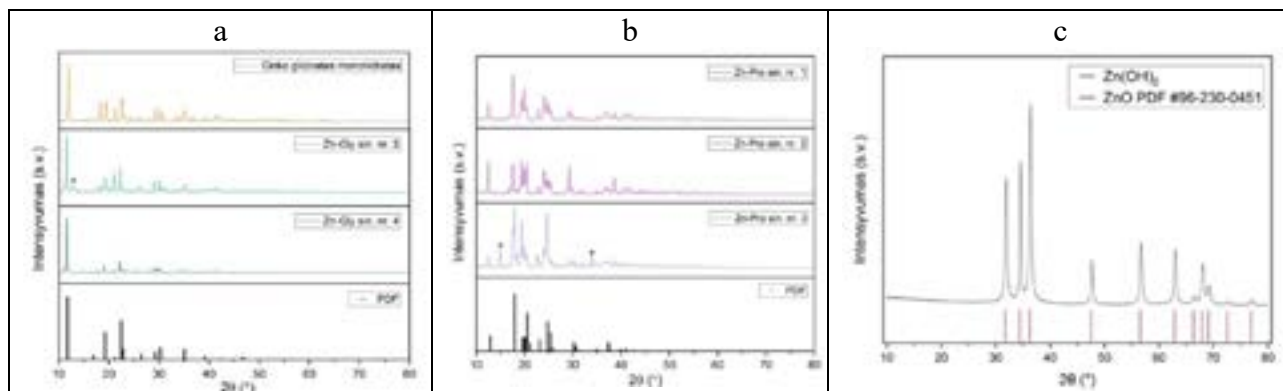
1-кесте. Қосылыстардың элементтік талдауы

Күрделі	Элементтер (%)
№1 синтезі, $\text{Zn}(\text{Gly})_2$	Zn (43,327 %), Cl (56,673 %)
№2 синтезі, $\text{Zn}(\text{Gly})_2$	Zn (50,663%), Cl (49,337%)
№3 синтезі, $\text{Zn}(\text{Gly})_2$	Мырыш (100%)
№4 синтезі, $\text{Zn}(\text{Gly})_2$	Zn (98,328%), Cl (1,672%)
№1 синтезі, $\text{Zn}(\text{Pro})_2$	Мырыш (100%)
№2 синтезі, $\text{Zn}(\text{Pro})_2$	Мырыш (100%)
№3 синтезі, $\text{Zn}(\text{Pro})_2$	Мырыш (100%)

Ары қарай тек мырыш табылған қосылыстарды ғана зерттеу туралы шешім қабылданды.

Рентгендік құрылымдық талдау. Рентгендік құрылымдық талдау қосылыстардың кристалдық құрылымын, кристалдылығын, фазалық тазалығын, кристаллит өлшемін бағалауға және тіпті ықтимал қоспаларды анықтауға мүмкіндік береді. Дереккөз [16] негізінде PDF карталары ретінде қолданылатын анықтамалық модельдер жасалды. 1а-суретте $\text{Zn}(\text{Gly})_2$ қосылыстарының №3 пен №4 синтездерінің рентгендік дифрактограммалары көрсетілген. Алынған қосылыстардың дифрактограммаларын PDF картасымен салыстырған кезде қоспа шыңы көрінеді (жұлдызшамен белгіленген). Анықталатын қоспалар реакцияның прекурсорларынан пайда болады. Әдебиетте ұсынылған сатып алынған қосылыстың да, мырыш-глицин кешенінің де дифрактограммасының шыңдары 1а-суреттегі шыңдарға сәйкес келетіні байқалды. PDF картасындағы пайда

болған басқада қосымша шыңдар қарқындылығы жағынан тым әлсіз және түсіндіру қиын екендігі көрінеді. Ал жақсы анықталған және жоғары қарқындылықтағы шыңдар ұсақ кристалды құрылымды түзетіндігін атап көрсетуге болады.



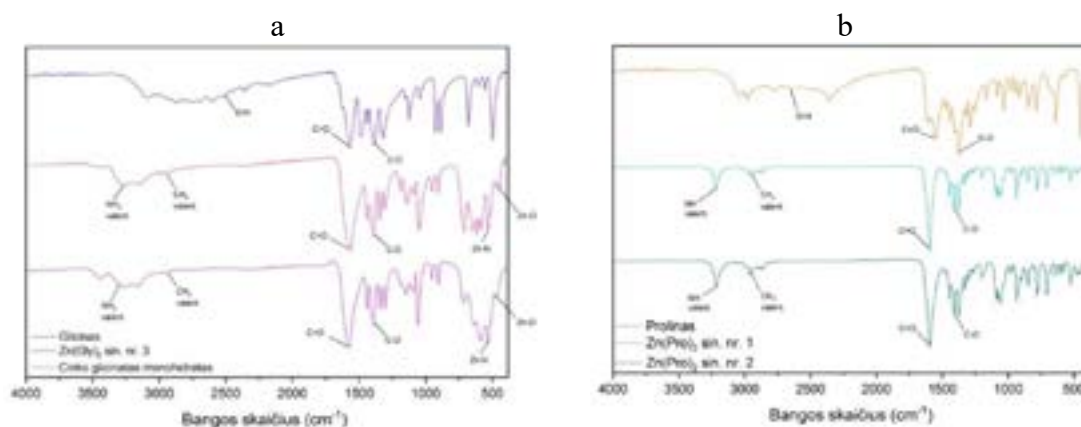
1-сурет. $\text{Zn}(\text{Gly})_2$ қосылысы №3,4 синтезі мен мырыш глицинаты моногидраты (а), $\text{Zn}(\text{Pro})_2$ қосылысы №1, 2, 3 синтезі (б) және $\text{Zn}(\text{OH})_2$ қосылысы (с) рентгендік дифрактограммасы

$\text{Zn}(\text{Pro})_2$ қосылысының №1,2,3 синтездерінің дифрактограммалары 1б-суретте көрсетілген. Ең белсенді қарқындылық шыңдары PDF картасында ұсынылған дифрактограммаларға, сондай-ақ басқа авторлардың зерттеу дифрактограммаларына сәйкес келетіні айқындалды. Көріп отырғаныңыздай әр түрлі синтез әдістерімен алынған барлық қосылыстардың шыңдарының қарқындылығы әр түрлі.

Әдебиеттерде ZnCl_2 -дың NaOH -пен реакциясы кезінде $\text{Zn}(\text{OH})_2$ түзілетіні көрсетілген, бірақ мұндай қосылыс тұрақсыз және рН негізгі аймағында бола алмайды [29]. Синтезделген қосылыстың рентгендік құрылымдық талдауын жүргізгеннен кейін шыңдар PDF картасындағы ZnO шыңдарына толық сәйкес келетіні 1с-суреттен анық көрінеді. Сондықтан $\text{Zn}(\text{OH})_2$ емес ZnO синтезделді. Осы екі прекурсорды қолданған кезде өте ұқсас реакция өнімдері алынды. Дифрактограммаларға сүйенсек, өнеркәсіптік синтез үшін таза болуы мүмкін коммерциялық ZnO қолданған жөн. Сондықтан $\text{Zn}(\text{OH})_2$ -ден синтезделген қосылыстардың құрылымы бұдан әрі қарастырылмайды.

FTIR талдау. ИҚ-Фурье спектроскопиялық талдау нәтижелері зерттелетін қосылыстардың функционалдық топтары мен құрылымдық өзгерістері туралы ақпарат береді. Қажетті қосылыстың пайда болғанын анықтау үшін алынған қосылыс пен прекурсордың спектрлері салыстырылады (бұл жағдайда аминқышқылдары). 2а-суретте көрсетілген глицин спектрінде карбоксил тобының жұтылуының едәуір кеңейтілген шыңын 3312-2170 cm^{-1} аралығында байқауға болады, ол күрделі қосылыстар спектрінде көрінбейді, өйткені О-Н байланысы оттегі мен металл арасындағы координациялық байланыспен ауыстырылады. Топтың тән шыңы – ол кеңеюге бейім және глицин спектріндегі N-H және C-H топтарының шыңдарымен қабаттасуы мүмкін. Кешен спектрінде симметриялы және асимметриялық валенттік тербелістердің шыңдары байқалды – NH_2 (3298 cm^{-1} және 3263 cm^{-1}), бұл амин тобының металмен өзара әрекеттесуін көрсетеді. Бір қызығы,

ИҚ-Фурье спектрінде кешендердің орталық металының оттегі мен азотпен әрекеттесу шыңдары да көрінеді. Zn-O байланысының тербелмелі шыңы 456 см^{-1} кезінде көрінеді, бұл үйлестіруге карбоксил тобы қатысқанын тағы бір рет көрсетеді. Zn-N байланысының валенттік тербелістерінің шыңы 581 см^{-1} байқалады. C=O және C-O шыңдары өзгеріссіз қалады, тек олар кешен спектріндегі кіші толқындық сандарға ауысады. Егер шыңдар кіші немесе үлкен толқындық сандарға ауысса, қосылыстағы металл мен азот арасындағы байланыс үйлестіру болып табылады деген қорытынды жасауға болады. ИҚ-Фурье талдауы металлоорганикалық қосылыстардың кристалдану суын да көрсете алады. Кристалдану суы O-H валенттік тербелістер, оны негізінен $1574,29\text{ см}^{-1}$ шыңда байқауға болады. Осыған тән шың 3000 см^{-1} -ден жоғары аймақта да пайда болады. Мырыш глицинаты моногидраты мен $\text{Zn}(\text{Gly})_2$ қосылысының №3 синтезінің ИҚ спектрі де жазылды (2а-сурет). Спектрдегі үш шыңның позициялары сәйкес келеді, бұл синтезделген қосылыстың құрылымын тағы бір рет растайды.

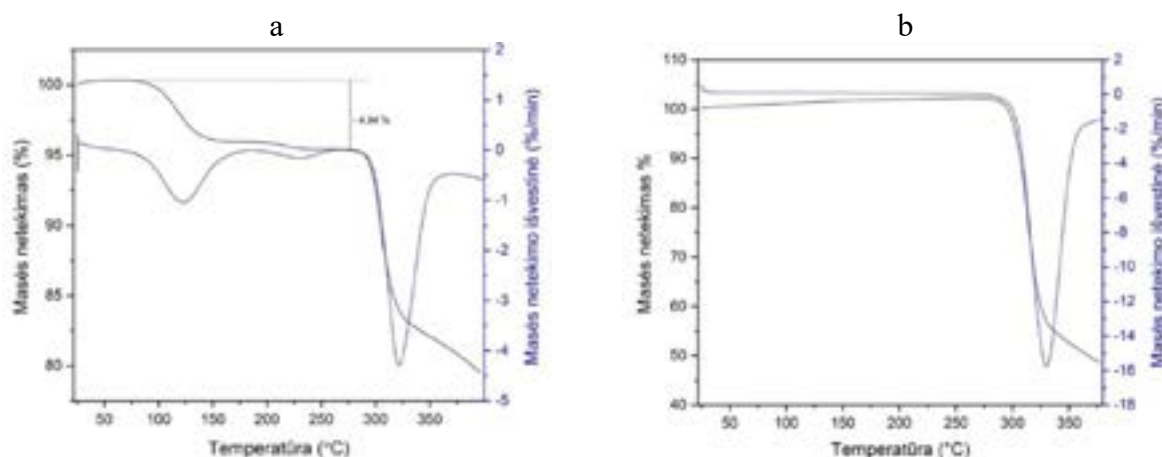


2-сурет. Глицин, $\text{Zn}(\text{Gly})_2$ қосылысы №3 синтезі мен мырыш глицинатының моногидраты (а) және пролин мен $\text{Zn}(\text{Pro})_2$ қосылысы №1,2 синтезінің (b) ИҚ-спектрлері

Мырыш пен пролиннің синтезделген күрделі қосылыстарының ИҚ спектрлері ішінара глицин кешендеріне ұқсас (2b-сурет). Глицин сияқты, пролин спектрінде ОН тобының COOH тербелістеріне жататын 3222 см^{-1} – 2033 см^{-1} аймағында кең жолағы бар. Қашан О-Н байланысы металл-оттегі байланысына өзгергенде NH шыңы 3220 см^{-1} кезінде пайда болады. Ол жалғыз, өйткені екінші ретті амин түзіліп, тек бір сутегімен әрекеттеседі. C-O және C=O шыңдары өзгерген жоқ, тек күрделі қосылыс спектріндегі үлкен толқындық сандарға ауысты, бұл металл мен азот арасындағы координациялық байланыстың пайда болуын білдіреді. Пролиннің күрделі қосылыстарындағы кристалдану суын анықтау глицинге қарағанда әлдеқайда күрделі, өйткені жоғары толқындық сандардағы шыңдар кеңеймеген және нақты анықталған.

Күрделі қосылыстардың термогравиметриялық талдауы N_2 атмосферасында үлгіні $10^\circ\text{C}/\text{мин}$ тұрақты жылдамдықпен қыздыру арқылы жүргізілді. Мақсат – қосылыстардағы кристалдану суының мөлшерін анықтау және олардың температуралық тұрақтылығын

зерттеу. Температураның жоғарылауымен $\text{Zn}(\text{Gly})_2$ шамамен 150°C температурада тұрақтанғанға дейін массасын біртіндеп жоғалтады және 280°C дейін өзгеріссіз қалады (3а-сурет). Алайда, әдеби деректер 7,75% диссоциациялануы керек екенін көрсетеді, содан кейін ғана қосылыс моногидрат деп айтуға болады. Талдау мәліметтері бойынша кристалдану суы 0,64 моль құрайды. Бұл жағдайда қосылыстың жалпы формуласын стехиометриялық түрде көрсету қиын. Бөлінген кристалдану суының теориялық есептелгеннен аз мөлшері пештегі қосылыстың тым ұзақ кептірілуін туындауы мүмкін. Кейінірек 285°C температураға жеткеннен кейін, күрделі қосылыстың термиялық ыдырауына байланысты массаның күрт төмендеуі байқалды.



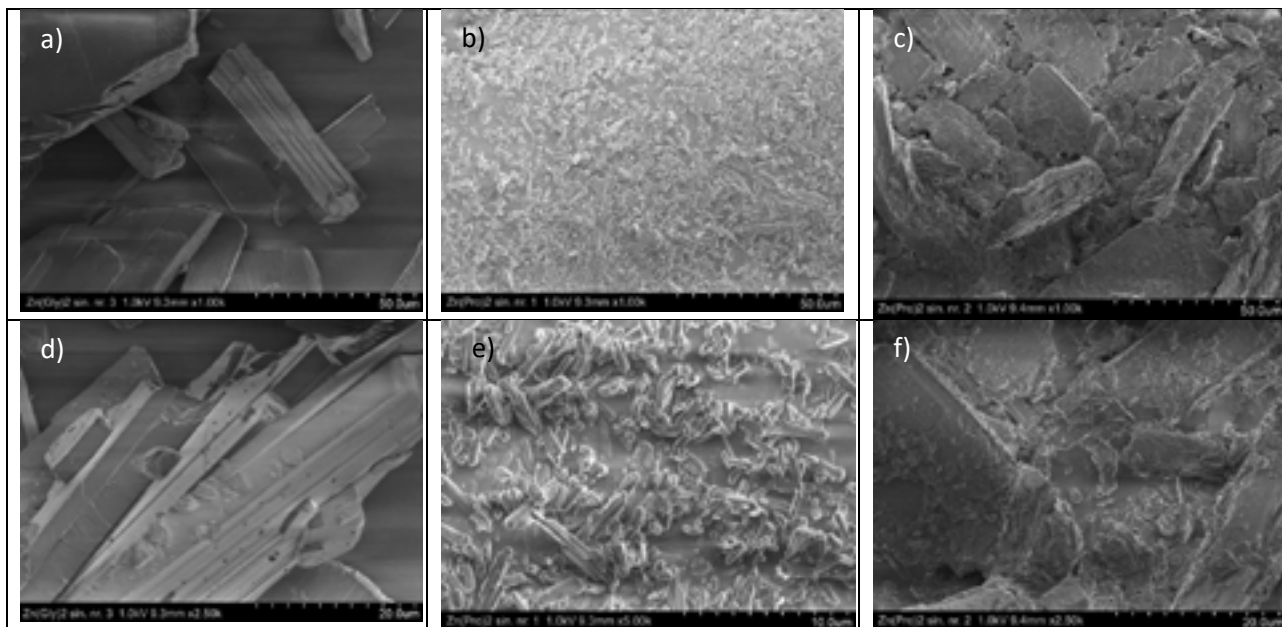
3-сурет. $\text{Zn}(\text{Gly})_2$ қосылысы №3 синтезінің (а) мен $\text{Zn}(\text{Pro})_2$ қосылысы №1 синтезінің (b) TG-DTG қисығы

Мырыш-пролинді кешенді қосылыс жағдайында тек термиялық тұрақтылық бағаланады (3б-сурет). Спектрде байқалғандай, бұл қосылыста кристалдану суы жоқ. Тек 300°C -ден бастап қосылыстың бұзылуы байқалады. Кристалдардың тазалығы қосылыстың балқу температурасына сәйкес келетін 360°C температурада нақты эндотермиялық шыңмен расталды.

SEM-талдау. Синтезделген қосылыстар бөлшектерінің морфологиясын бағалау үшін SEM зерттеу әдісі қолданылды (4-сурет). СЭМ суреттерінен әртүрлі синтез әдістерімен синтезделген қосылыстар арасындағы морфологиялық айырмашылықтарды көруге болады. 4-суреттің а) және d) көріністерінен мырыш-глицин кешені қосылысының бөлшектер мөлшерінің таралуы өте біркелкі емес екенін көруге болады. Олардың құрылымын атау қиын, олардың көпшілігінде ұсақ бөлшектермен қапталған жалпақ және өзек тәрізді кристалдар басым. Мырыш-пролинді кешенді қосылыс бірінші синтез әдісімен синтезделді (4-сурет b) және e)), бөлшектер әлдеқайда ұсақ екенін байқаймыз. Құрылымы бұзылған өзек тәрізді бөлшектердің түзілуі байқалады. $\text{Zn}(\text{Pro})_2$ қосылысының №2 синтезі (4-сурет c) және f)) мырыш-глицин кешені қосылысының құрылымына ұқсайды, өйткені ол сол әдіспен синтезделген. Бөлшектер де көлемді, бірақ кристалдылығы төмен. Бұл ерітіндінің кристалдар түзу үшін баяу булануына байланысты болуы мүмкін.

Синтезделген және талданған қосылыстарды әрі қарай зерттеу арқылы косметикада қолдануға болады. Осы мақсатқа жету үшін жұмыс барысында синтезделген мырыш-глицин кешенді қосылысы ($Zn(Gly)_2$, №3 синтезі) бар косметикалық өнім жасалды.

Косметикалық өнімнің рецепті косметика өнеркәсібінде синтезделген кешенді қолдану мүмкіндігін анықтау үшін ол косметикалық өнімнің рецептурасында қолданылды. Әдеби дереккөздерге сәйкес, мырыш-глицин кешенді қосылысы бактерия мен микробқа қарсы қасиеттерге ие. Осы себепті ол косметикалық формулалардағы терінің пайдалы белсенді компоненті ғана емес, сонымен қатар өнімнің микробиологиялық ластану мен төзімділігіне (сақталуына) оң әсер етуі мүмкін. Мырыш-пролин кешені әлі күнге дейін Еуропалық Одақ нарығына арналған косметикалық өнімдердің формулаларында қолдануға рұқсат етілмеген. Еуропалық Одақта қолданыстағы заңнамаға сәйкес, барлық косметикалық өнімдер косметикалық өнімдерді сақтаудың тиімділігін бағалайтын «SCCS» сынағынан өтуі керек [30]. Мырыш-глицин кешенінің косметикалық өнімнің микробиологиялық ластануы мен төзімділігіне және консервациялаудың тиімділігіне әсері кешенді қолданыстағы косметикалық рецептураға қосу арқылы бағаланды (рецепт құрамы: су, глицерин, пантенол, натрий гиалуронаты, лимон қышқылы, феноксиэтанол). Феноксиэтанол бастапқыда зерттеу үшін таңдалған препаратта консервант ретінде қолданылған. Ол мырыш глицинатымен алмастырылды және құрамында мырыш глицинатының әртүрлі концентрациясы (1%, 0,7%, 0,5%, 0,3%) бар төрт сарысу мен бір бақылау (мырыш глицинаты жоқ) үлгісі жасалды. Еуропалық Одақтың ережесіне сәйкес, косметика құрамында суда еритін мырыш тұздарын қолданған кезде мырыш мөлшері өнімнің салмағының 1%-нан аспауы керек [31].



4-сурет. $Zn(Gly)_2$, №3 синтезі - a), d); $Zn(Pro)_2$, №1 синтезі - b), e);
 $Zn(Pro)_2$, №1 - c), f) синтездерінің СЭМ суреттері

Мырыш-глицин кешенінің әртүрлі концентрациялары бар дайындалған прототиптер (үлгілер) сериясы LST EN ISO 11930:2019 стандартына сәйкес осы прототиптерді микробқа қарсы қорғаудың тиімділігін бағалау мақсатында Ұлттық Қоғамдық денсаулық сақтау зертханасында (Вильнюс, Литва) сыналды.

Микробқа қарсы қорғаныстың тиімділігін бағалау кезінде микробиологиялық таза өнімдер микроорганизмдердің дақылдарымен арнайы ластанған – *Escherichia coli* (ішек таяқшасы, грамтеріс таяқша тәрізді бактерия), *Candida albicans* (ақ саңырауқұлақ), *Aspergillus brasiliensis* (саңырауқұлақ), *Pseudomonas aeruginosa* (жасыл псевдомонада, грамтеріс, аэробты таяқша тәрізді бактерия), *Staphylococcus aureus* (алтын стафилококк, патогендік бактерия). Әрі қарай бақылау жүзеге асырылды және арнайы «жұқтырған» өнімдерде микроорганизмдер дақылдарының одан әрі өсуі/жойылуы бақыланды және бағаланды. Сынақтың сәтті болуы үшін микроорганизмдердің дақылдары толығымен жойылуы немесе Стандартта белгіленген жылдамдықпен жойылуы негізге алынды. Барлық прототиптерде микробқа қарсы ластанудың жоқтығына көз жеткізу үшін микробқа қарсы қорғаныстың тиімділігін бағалау үшін зерттеуді бастамас бұрын барлық тексерілген прототиптер (0% Zn-Gly, 0,3% Zn-Gly, 0,5% Zn-Gly, 0,7% Zn-Gly, 1% Zn-Gly) микробиологиялық сынақтар өткізілді. Тәжірибелік үлгілерде микробиологиялық ластану табылған жоқ.

Әрбір микроорганизм мәдениеті инкубацияланды, себілді және әртүрлі ортада әртүрлі жағдайларда бақыланды. Микроорганизмдердің дақылдарын өсіргеннен және микроорганизмдердің суспензияларын дайындағаннан кейін микроорганизмдердің суспензиясына бақылау жүргізілді (2-кесте), N (түзуші бірліктердің бағанасы) және N0 мәндері (уақыттың нөлдік сәтінде егілген микроорганизмдердің саны), $N_0 = N/100$ формула бойынша анықталады:

$$N = \frac{C}{V * d}$$

мұндағы C – екі шыныаяқта есептелген колониялардың орташа мәні; V – егу көлемі (егу ерітіндісі); d – сұйылту коэффициенті.

2-кесте. Зерттеуде пайдаланылған микроорганизмдердің суспензиясын бақылау

Микроорганизмдер	N cv/мл	N 0 cv/мл (N 0 =N/100)
<i>Кандида альбиканс</i>	$9,3 \times 10^7$	$9,3 \times 10^5$
<i>Бразилиялық аспергилл</i>	$4,9 \times 10^6$	$4,9 \times 10^4$
<i>Көк ірің таяқшасы</i>	$8,7 \times 10^8$	$8,7 \times 10^6$
<i>Алтын түсті стафилококк</i>	$7,2 \times 10^8$	$7,2 \times 10^6$
<i>Ішек таяқшасы</i>	$7,0 \times 10^8$	$7,0 \times 10^6$

Косметикалық өнімдердің микробқа қарсы қорғанысының тиімділігін зерттегеннен кейін мырыш-глицин кешені *Aspergillus brasiliensis* (зең) қоспағанда, сыналатын барлық микроорганизмдік дақылдарға жеткілікті тиімді микробқа қарсы әсер ететіні анықталды

(ISO стандартына сәйкес), яғни микробқа қарсы тиімділік, бірақ *Aspergillus brasiliensis*-ке қатысты фунгицидтік қасиеттерге ие емес. Мырыш-глицин кешенін пайдаланбаған прототипте микроорганизмдердің барлық штамдары байқалды (*Escherichia coli*, *Candida albicans*, *Aspergillus brasiliensis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*) колония түзетін бірліктер санының төмендеуі (азаюы) байқалмады немесе жеткіліксіз болды микробиологиялық қорғауды LST EN ISO 11930:2019 стандарты бойынша тиімді деп санауға болады.

Мырыш-глицин кешені қолданылған барлық прототиптерде (0,3%, 0,5%, 0,7%, 1%), *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* колониясын құрайтын бірліктердің жоғары тиімді төмендеуі байқалды. 7 күннен кейін құрамында мырыш-глицин кешені бар барлық прототиптерде аталған микроорганизмдердің барлық колониялары жоғалып кетті. Тиімділігі аз, бірақ үйлесімді *Candida albicans* санының азаюы болды. Мырыш-глицин 0,3% концентрациясында *Candida albicans* колониясын құрайтын бірліктердің саны 7 күнде 631 есе ($\log N_0 = 6,0$ -ден $\log N_{7d} = 3,3$ -ке дейін), ал 28 күнде 3164 есе ($\log N_{7d} = 3,3$) азайды.

Нәтижелер маңызды, өйткені мырыш-глицин кешені косметикалық өнімдерді микробиологиялық ластанудан тиімді микробқа қарсы қорғауды қамтамасыз ете алады деген гипотеза расталды. Мырыш-глицин кешені косметикалық өнім рецептурасындағы мырыш-глицин кешенінің ең төмен сыналған концентрациясында да (0,3%) *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* және *Candida albicans* микроорганизмдерінен тиімді микробқа қарсы қорғанысты қамтамасыз етуге мүмкіндік берді. Барлық сыналған прототиптерде мырыш-глицин кешенінің *Aspergillus brasiliensis*-ке қатысты фунгицидтік қасиеттері байқалмады, яғни бұл микроорганизмдердің колонияларының азаюы байқалмады немесе жеткіліксіз болды. Осы формулаларға фунгицидтік қасиеттері бар теріге пайдалы кез келген басқа ингредиентті енгізу арқылы консерванттарды мақсатты пайдаланудан аулақ болатын косметикалық өнімдерді жасауға болады, өйткені микробқа қарсы қорғаныстың тиімділігі басқа белсенді ингредиенттермен қамтамасыз етіледі.

Қорытынды

Зерттеу барысында мырыш пен аминқышқылдарының күрделі қосылыстарын алу-дың әртүрлі әдістері сыналды: $Zn(Gly)_2$ суда, $Zn(Pro)_2$ суда және органикалық ортада синтезделді.

SEM-EDX зерттеулері алынған қосылыстардың элементтік құрамын анықтады. Бұл талдау металлорганикалық қосылыстарды зерттеуде кеңінен қолданылмады, өйткені O, N, H элементтері туралы мәліметтер дәл емес. Дегенмен, $ZnCl_2$ -ден синтезделген қосылыстарда реакция прекурсорлары бар екені белгілі болды. Синтез әдісі жарамсыз деп танылды.

Рентгендік құрылымдық талдау қосылыстардың фазалық тазалығын көрсетіп, прекурсорлық қоспалар табылмады. Басқа авторлардың синтездеу әдісі де талданды және $Zn(OH)_2$ көрсетілген шарттарда алынбайтындығы дәлелденді, сондықтан осындай

алынған қосылыстар одан әрі талданбайды. ИҚ-Фурье спектроскопиясы қосылыстардың функционалды топтарын анықтауға мүмкіндік беріп, алынған спектрлер бойынша оттегі мен сутегі арасындағы байланыс мырыш пен оттегі арасындағы координациялық байланысқа ауысқаны анықталды, ал шыңдардың өзгеруі мырыш пен азот арасындағы координациялық байланыстың пайда болуын көрсетті.

СЭМ суреттері әртүрлі әдістермен синтезделген қосылыс бөлшектерінің мөлшері мен пішінін анықтауға мүмкіндік берді. Органикалық ортада синтезделген күрделі мырыш-пролин қосылысының бөлшектері суда синтезделген қосылыстарға қарағанда салыстырмалы түрде кішірек және кристалдылық дәрежесі жоғары екені белгілі болды. Термогравиметриялық талдау $\text{Zn}(\text{Gly})_2$ қосылысында кристалдану суы бар екенін көрсетті. Қосылыс молекуласына 0,64 моль H_2O молекулалары қосылған деп есептелді. Сондай-ақ $\text{Zn}(\text{Pro})_2$ қосылысы ылғалданбайтыны расталды.

Мырыш пен глицин амин қышқылы ZnO прекурсоры арқылы синтезделгенде коммерциялық іске асыруға қолайлы кешенді қосылыс түзетіні анықталды. Сондықтан бұл қосылыс көпфункционалды ингредиент (белсенді ингредиент+консервант) ретінде коммерциялық косметикалық өнімнің (Сарысудың) рецептурасына енгізілді. Мырыш-глицин кешені косметикалық өнімдерді *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* және *Candida albicans* микроорганизмдерінен тиімді микробқа қарсы қорғауды, тіпті сыналған прототиптер арасында мырыш-глицин кешенінің ең төмен сыналған концентрациясы (0,3%) болса да қамтамасыз ететіні байқалды. Барлық сыналған прототиптерде мырыш-глицин кешенінің *Aspergillus brasiliensis*-ке қатысты фунгицидтік қасиеттері байқалмады, яғни бұл микроорганизмдердің колонияларының азаюы байқалмады немесе жеткіліксіз болды. Құрамында мырыш-глицин кешені бар косметиканың құрамына фунгицидтік қасиеттері бар теріге пайдалы тағы бір ингредиент енгізу арқылы консерванттарды мақсатты пайдаланудан аулақ болатын косметикалық өнімдерді жасауға болатыны айқындалды, өйткені микробқа қарсы қорғаныстың тиімділігі төмендейді. Құрамындағы басқа белсенді заттармен қамтамасыз етіледі.

Алғыс айту, мүдделер қақтығысы

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылды (грант № AP22683206).

Авторлар Вильнюс университеті, химия және геоғылымдар факультеті ұжымына (Вильнюс, Литва) ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізуге көмек бергені үшін алғыс білдіреді. Авторлар олардың мүдделер қақтығысы жоқ екенін баяндайды.

Авторлардың қосқан үлесі

Пазылбек С.А., Карейва А., Төлеуханова Ж.Т., Ескермесов Д.К. – түпнұсқа мәтінді жазу, авторлық қадағалау, әдістеме, зерттеу;

Жакипбаев Б.Е., Әбдіқадыр Б.З., Катбаева М.Т. – тұжырымдамалау, зерттеу, ресурстар;

Муратбекова У.А., Алипбекова Ж.К. – зерттеу, визуализация, шолу, редакциялау.

Әдебиеттер тізімі

1. K. Larson, *Shopper Demand For Clean Beauty And Increased Transparency Continues*, қол жетімді адресі: <https://www.forbes.com/sites/kristinlarson/2021/06/30/shopper-demand-for-clean-beauty-and-increased-transparency-continues/?sh=3d0194cb5402>
2. K. Chitrakorn, *Ingredients before brands: The new beauty consumer priority?* қол жетімді адресі: <https://www.voguebusiness.com/beauty/ingredients-before-brands-the-new-beauty-consumer-priority>
3. S. Hartmann, U. Klaschka, *Interested consumers' awareness of harmful chemicals in everyday products*, Environ Sci Eur. 29, 29 (2017). DOI: <https://doi.org/10.1186/s12302-017-0127-8>
4. J. Ring, *Often misrepresented yet fundamental: the importance of understanding ingredients in cosmetics*, J Eur Acad Dermatol Venereol., 33 (Suppl 7), p. 3-4 (2019). DOI: <https://doi.org/10.1111/jdv.15960>
5. B. Dréno, T. Zuberbier, C. Gelmetti, G. Gontijo, M. Marinovich, *Safety review of phenoxyethanol when used as a preservative in cosmetics*, J Eur Acad Dermatol Venereol., 33 (Suppl 7), p. 15-24 (2019). DOI: <https://doi.org/10.1111/jdv.15944>
6. *Scientific Committee on Consumer Safety*. Opinion on Phenoxyethanol, The SCCS adopted this opinion at its 2nd plenary meeting on 6 October 2016, қол жетімді адресі: https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/consumer_safety/docs/sccs_o_195.pdf
7. *Final amended report on the safety assessment of Methylparaben, Ethylparaben, Propylparaben, Isopropylparaben, Butylparaben, Isobutylparaben, and Benzylparaben as used in cosmetic products*, Int J Toxicol., 27 (Suppl 4), p. 1-82 (2008). DOI: <https://doi.org/10.1177/109158180802704s01>
8. O. Ryu, B.K. Park, M. Bang and etc., *Effects of Several Cosmetic Preservatives on ROS-Dependent Apoptosis of Rat Neural Progenitor Cells*, Biomolecules & Therapeutics (Seoul), 26(6), p. 608-615 (2018). DOI: <https://doi.org/10.4062/biomolther.2017.221>
9. E.M. Jackson, *Diazolidinyl Urea: A Toxicologic and Dermatologic Risk Assessment as a Preservative in Consumer Products*, Journal of Toxicology: Cutaneous and Ocular Toxicology, 14(1), p. 3-21 (2008), DOI: <https://doi.org/10.3109/15569529509057663>
10. K.A. Zug, E.M. Warshaw, J.F. Fowler Jr and etc., *Patch-test results of the North American Contact Dermatitis Group 2005-2006*, Dermatitis, 20(3), p. 149-60 (2009). DOI: <https://www.liebertpub.com/doi/abs/10.2310/6620.2009.08097>
11. J. Wang, Y. Liu, W.R. Kam, Y. Li, D.A. Sullivan, *Toxicity of the cosmetic preservatives parabens, phenoxyethanol and chlorphenesin on human meibomian gland epithelial cells*, Experimental Eye Research., 196, 108057 (2020). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.exer.2020.108057>
12. L.M. Weatherly, J.A. Gosse, *Triclosan Exposure, Transformation, and Human Health Effects*, Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B, 20(8), p. 447-469 (2017). DOI: <https://doi.org/10.1080/10937404.2017.1399306>
13. M. Abendrot, U. Kalinowska-Lis, *Zinc-containing compounds for personal care applications*, Int J Cosmet Sci, 40 p. 319-327 (2018). DOI: <https://doi.org/10.1111/ics.12463>
14. *Cosmetic ingredient database. CosIng – Glossary of ingredients*, қол жетімді адресі: https://ec.europa.eu/growth/sectors/cosmetics/cosmetic-ingredient-database_lt
15. L. Firth, *Super Amino Acids: Glycine and Proline*, қол жетімді адресі: <https://www.adashiko.com/blogs/news/super-amino-acids-glycine-and-proline>

16. M. Abendrot, L. Chęcińska, J. Kusz, and etc., *Zinc(II) complexes with amino acids for potential use in dermatology: synthesis, crystal structures and antibacterial activity*, *Molecules* 25(4), p. 951 (2020). DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25040951>
17. P.W. Atkins, T.L. Overton, J.P. Rourke, and etc., *Shriver and Atkins' Inorganic Chemistry*. 5th ed., Oxford University Press(Oxford, 2010), p. 824
18. G.A. Lawrance, *Introduction to Coordination Chemistry 1st ed.*(John Wiley & Sons Ltd, Great Britain, 2010), p. 304, қол жетімді адресі: <https://www.wiley.com/en-us/Introduction+to+Coordination+Chemistry-p-9781118681404>
19. M. Fleck, A.M. Petrosyan, *Salts of Amino Acids. 1st ed.*, (Springer Cham, Switzerland, 2014), p. 574, қол жетімді адресі: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-06299-0>
20. A. Rauhvargers, *Reasons of complex compound formation*, қол жетімді адресі: http://aris.gusc.lv/GenChem93/12_ComplexComp.pdf
21. *Crystallization and Precipitation*, қол жетімді адресі: https://www.mt.com/us/en/home/applications/L1_AutoChem_Applications/L2_Crystallization.html#overviewaf10
22. N.N. Greenwood, A. Earnshaw, *Chemistry of the Elements*. 2nd ed., (Butterworth Heinemann, 1997), p. 1364, қол жетімді адресі: <https://doi.org/10.1016/C2009-0-30414-6>
23. B.I. Kharisov, *Direct Synthesis of Metal Complexes*. 1st ed., (Elsevier, 2018), p. 468, қол жетімді адресі: <https://doi.org/10.1016/C2016-0-00655-1>
24. S.A. Nastiti, Harmita, C. Jatmika, *Synthesis and analysis of zinc methionine, zinc glycine, copper leucine, and copper glycine complexes using atomic absorption spectrophotometry*, *International Journal of Applied Pharmaceutics*, 10(1), p. 388–391 (2018). DOI: <https://doi.org/10.22159/ijap.2018.v10s1.86>
25. F.W. Marschner, *Deodorant composition, United States Patent №4565693* (1986), қол жетімді адресі: <https://patentimages.storage.googleapis.com/8c/d8/cd/e5df64fe96fdb5/US4565693.pdf>
26. T. E. Needham, *The Solubility of Amino Acids in Various Solvent Systems*, University of Rhode Island, p. 159 (1970). DOI: <https://doi.org/10.23860/diss-needham-thomas-1970>
27. A.R. de Oliveira, R. Katla, M.P.D. Rocha, T.B. Albuquerque and etc., *Zinc Di(l-prolinate)-Mediated Synthesis of α -Aminophosphonates under Mild Conditions*, *Synthesis*, 48, p. 4489-4494 (2016). DOI: 10.1055/s-0036-1588065
28. M. Kidwai, A. Jain, R. Poddar, *Zn[(L)proline]₂ in water: A new easily accessible and recyclable catalytic system for the synthesis of pyrazoles*, *Journal of Organometallic Chemistry*, 696, p. 1939-1944 (2011). DOI: 10.1016/j.jorgchem.2010.09.012
29. A. Krężel, W. Maret, *The biological inorganic chemistry of zinc ions*, *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 611, p. 3-19 (2016). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.abb.2016.04.010>
30. *The SCCS Notes of Guidance for the Testing of Cosmetic Ingredients and Their Safety Evaluation*, қол жетімді адресі: https://ec.europa.eu/health/system/files/2021-04/sccs_o_250_0.pdf 25
31. *Regulation (EC) No 1223/2009 of the European Parliament and of the Council of 30 November 2009 on cosmetic products*, қол жетімді адресі: <https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009R1223&from=EN>

С.А. Пазылбек^{1,2}, А. Карейва¹, Б.Е. Жакипбаев³, Д.К. Ескермесов⁴, Б.З. Абдикадыр⁴,
М.Т. Катбаева², У.А. Муратбекова⁵, Ж.К. Алипбекова⁶, Ж.Т. Төлеуханова^{*4}

¹Вильнюсский университет, Вильнюс, Литва

²Университет имени Ж.А. Ташенева, Шымкент, Казахстан

³Университет дружбы народов имени академика А.Куатбекова, Шымкент, Казахстан

⁴НАО «Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева»,
Усть-Каменогорск, Казахстан

⁵Южно-Казахстанский педагогический университет имени О. Жанибекова, Шымкент, Казахстан

⁶Южно-Казахстанский университет имени М. Ауезова, Шымкент, Казахстан

(E-mail: ztoleukhanova@ektu.kz)

Исследование характеристик, методов синтеза и структурно-фазовых свойств цинковых комплексных соединений

Аннотация. В данной работе рассмотрены различные методы получения цинковых комплексов с аминокислотами: $\text{Zn}(\text{Gly})_2$, синтезированный в водной среде, и $\text{Zn}(\text{Pro})_2$, синтезированный как в водной, так и в органической среде. Элементный состав полученных соединений был определен методом SEM-EDX, что подтвердило наличие прекурсоров реакций в соединениях, синтезированных с использованием ZnCl_2 в качестве исходного материала. Рентгеноструктурный анализ показал образование фазово чистых продуктов с незначительным количеством примесей исходных веществ. ИК-Фурье спектроскопия позволила определить функциональные группы соединений; на основании FTIR-спектров установлено, что водородные связи между кислородом и водородом заменяются координационными связями между цинком и кислородом, а сдвиг полос в область более высоких или низких волновых чисел свидетельствует о формировании координационной связи между цинком и азотом. SEM-изображения позволили определить размеры и морфологию частиц соединений, синтезированных различными методами. Частицы комплексного цинк-пролинового соединения, полученного в органической среде, оказались значительно меньшими по размеру по сравнению с частицами, синтезированными в водной среде. Термогравиметрический анализ показал наличие кристаллизационной воды в соединении $\text{Zn}(\text{Gly})_2$, в то время как соединение $\text{Zn}(\text{Pro})_2$ оказалось безводным. $\text{Zn}(\text{Gly})_2$ был введен в состав коммерческого косметического продукта (сыворотки) в качестве консерванта. Цинк-глициновый комплекс обеспечил эффективную антимикробную защиту косметических средств от *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *E. coli* и *Candida albicans* даже при минимальной концентрации комплекса (0,3 %). Против *Aspergillus brasiliensis* активность цинк-глицинового комплекса не наблюдалась, то есть уменьшения количества колоний этих микроорганизмов не происходило или оно было недостаточным. Полученные результаты позволяют предположить, что добавление ещё одного полезного для кожи ингредиента с фунгицидными свойствами в косметические композиции, содержащие цинк-глициновый комплекс, открывает возможность создания косметических продуктов без использования традиционных консервантов.

Ключевые слова: цинк-глицин, $\text{Zn}(\text{Gly})_2$, $\text{Zn}(\text{Pro})_2$, SEM-EDX, спектр FTIR.

S.A. Pazylbek^{1,2}, A. Kareiva², B.Ye. Zhakipbayev³, D.K. Yeskermessov⁴, B.Z. Abdikadyr⁵,
M.T. Katbayeva², U.A. Muratbekova⁵, Zh.K. Alipbekova⁶, Zh.T. Toleukhanova^{*4}

¹Vilnius University, Vilnius, Lithuania

²Tashenev University, Shymkent, Kazakhstan

³Peoples' Friendship University named after Academician A. Kuatbekov, Shymkent, Kazakhstan

⁴NJSC "D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University", Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

⁵South Kazakhstan Pedagogical University named after O. Zhanibekov, Shymkent, Kazakhstan

⁶M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

(E-mail: ztoleukhanova@ektu.kz)

Investigation of the characteristics, synthesis methods, and structural-phase properties of zinc complex compounds

Abstract. This study investigated various methods for obtaining zinc complexes with amino acids, including Zn(Gly)₂ synthesized in aqueous medium, and Zn(Pro)₂ synthesized both in aqueous and organic media. The elemental composition of the obtained compounds was determined using SEM-EDX analysis, which revealed the presence of reaction precursors in the compounds synthesized with ZnCl₂ as a starting material. X-ray structural analysis confirmed the formation of phase-pure products containing only minor amounts of precursor impurities. FTIR spectroscopy enabled the identification of functional groups, and the spectra indicated that hydrogen bonding with oxygen was replaced by coordination bonding between zinc and oxygen. Furthermore, shifts in the wave numbers of the bands provided evidence for the formation of coordination bonds between zinc and nitrogen atoms. SEM images allowed for the assessment of particle shape and size, revealing that the zinc-proline complex synthesized in organic medium had significantly smaller particles than those synthesized in water. Thermogravimetric analysis showed the presence of crystallization water in the Zn(Gly)₂ compound, whereas the Zn(Pro)₂ complex was anhydrous. The Zn(Gly)₂ complex was incorporated as a preservative into a commercial cosmetic serum. The zinc-glycine complex demonstrated effective antimicrobial protection of the cosmetic product against *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *E. coli*, and *Candida albicans*, even at a minimum concentration of 0.3%. However, no significant activity was observed against *Aspergillus brasiliensis*, indicating either no reduction or insufficient reduction of fungal colonies. These results suggest the potential for developing preservative-free cosmetic products by adding skin-beneficial ingredients with fungicidal properties to the zinc-glycine-based cosmetic compositions.

Keywords: zinc-glycine, Zn(Gly)₂, Zn(Pro)₂, SEM-EDX, FTIR spectrum

References

1. K. Larson, *Shopper Demand For Clean Beauty And Increased Transparency Continues*, available at: <https://www.forbes.com/sites/kristinlarson/2021/06/30/shopper-demand-for-clean-beauty-and-increased-transparency-continues/?sh=3d0194cb5402>
2. K. Chitrakorn, *Ingredients before brands: The new beauty consumer priority?* available at: <https://www.voguebusiness.com/beauty/ingredients-before-brands-the-new-beauty-consumer-priority>

3. S. Hartmann, U. Klaschka, *Interested consumers' awareness of harmful chemicals in everyday products*, Environ Sci Eur. 29, 29 (2017). DOI: <https://doi.org/10.1186/s12302-017-0127-8>
4. J. Ring, *Often misrepresented yet fundamental: the importance of understanding ingredients in cosmetics*, J Eur Acad Dermatol Venereol., 33 (Suppl 7), p. 3-4 (2019). DOI: <https://doi.org/10.1111/jdv.15960>
5. B. Dréno, T. Zuberbier, C. Gelmetti, G. Gontijo, M. Marinovich, *Safety review of phenoxyethanol when used as a preservative in cosmetics*, J Eur Acad Dermatol Venereol., 33 (Suppl 7), p. 15-24 (2019). DOI: <https://doi.org/10.1111/jdv.15944>
6. *Scientific Committee on Consumer Safety. Opinion on Phenoxyethanol, The SCCS adopted this opinion at its 2nd plenary meeting on 6 October 2016*, available at: https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/consumer_safety/docs/sccs_o_195.pdf
7. *Final amended report on the safety assessment of Methylparaben, Ethylparaben, Propylparaben, Isopropylparaben, Butylparaben, Isobutylparaben, and Benzylparaben as used in cosmetic products*, Int J Toxicol., 27 (Suppl 4), p. 1-82 (2008). DOI: <https://doi.org/10.1177/109158180802704s01>
8. O. Ryu, B.K. Park, M. Bang and etc., *Effects of Several Cosmetic Preservatives on ROS-Dependent Apoptosis of Rat Neural Progenitor Cells*, Biomolecules & Therapeutics (Seoul), 26(6), p. 608-615 (2018). DOI: <https://doi.org/10.4062/biomolther.2017.221>
9. E.M. Jackson, *Diazolidinyl Urea: A Toxicologic and Dermatologic Risk Assessment as a Preservative in Consumer Products*, Journal of Toxicology: Cutaneous and Ocular Toxicology, 14(1), p. 3-21 (2008), DOI: <https://doi.org/10.3109/15569529509057663>
10. K.A. Zug, E.M. Warshaw, J.F. Fowler Jr and etc., *Patch-test results of the North American Contact Dermatitis Group 2005-2006*, Dermatitis, 20(3), p. 149-60 (2009). DOI: <https://www.liebertpub.com/doi/abs/10.2310/6620.2009.08097>
11. J. Wang, Y. Liu, W.R. Kam, Y. Li, D.A. Sullivan, *Toxicity of the cosmetic preservatives parabens, phenoxyethanol and chlorphenesin on human meibomian gland epithelial cells*, Experimental Eye Research., 196, 108057 (2020). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.exer.2020.108057>
12. L.M. Weatherly, J.A. Gosse, *Triclosan Exposure, Transformation, and Human Health Effects*, Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B, 20(8), p. 447-469 (2017). DOI: <https://doi.org/10.1080/10937404.2017.1399306>
13. M. Abendrot, U. Kalinowska-Lis, *Zinc-containing compounds for personal care applications*, Int J Cosmet Sci, 40 p. 319-327 (2018). DOI: <https://doi.org/10.1111/ics.12463>
14. *Cosmetic ingredient database. CosIng – Glossary of ingredients*, available at: https://ec.europa.eu/growth/sectors/cosmetics/cosmetic-ingredient-database_lt
15. L. Firth, *Super Amino Acids: Glycine and Proline*, available at: <https://www.adashiko.com/blogs/news/super-amino-acids-glycine-and-proline>
16. M. Abendrot, L. Chęcińska, J. Kusz, and etc., *Zinc(II) complexes with amino acids for potential use in dermatology: synthesis, crystal structures and antibacterial activity*, Molecules 25(4), p. 951 (2020). DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25040951>
17. P.W. Atkins, T.L. Overton, J.P. Rourke, and etc., *Shriver and Atkins' Inorganic Chemistry*. 5th ed., Oxford University Press(Oxford, 2010), p. 824
18. G.A. Lawrance, *Introduction to Coordination Chemistry 1st ed.*(John Wiley & Sons Ltd, Great Britain, 2010), p. 304, available at: <https://www.wiley.com/en-us/Introduction+to+Coordination+Chemistry-p-9781118681404>

19. M. Fleck, A.M. Petrosyan, *Salts of Amino Acids. 1st ed.*, (Springer Cham, Switzerland, 2014), p. 574, available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-06299-0>
20. A. Rauhvargers, *Reasons of complex compound formation*, available at: http://aris.gusc.lv/GenChem93/12_ComplexComp.pdf
21. *Crystallization and Precipitation*, available at: https://www.mt.com/us/en/home/applications/L1_AutoChem_Applications/L2_Crystllization.html#overviewaf10
22. N.N. Greenwood, A. Earnshaw, *Chemistry of the Elements*. 2nd ed., (Butterworth Heinemann, 1997), p. 1364, available at: <https://doi.org/10.1016/C2009-0-30414-6>
23. B.I. Kharisov, *Direct Synthesis of Metal Complexes*. 1st ed., (Elsevier, 2018), p. 468, available at: <https://doi.org/10.1016/C2016-0-00655-1>
24. S.A. Nastiti, Harmita, C. Jatmika, *Synthesis and analysis of zinc methionine, zinc glycine, copper leucine, and copper glycine complexes using atomic absorption spectrophotometry*, International Journal of Applied Pharmaceutics, 10(1), p. 388–391 (2018). DOI: <https://doi.org/10.22159/ijap.2018.v10s1.86>
25. F.W. Marschner, *Deodorant composition, United States Patent №4565693* (1986), available at: <https://patentimages.storage.googleapis.com/8c/d8/cd/e5df64fe96fdb5/US4565693.pdf>
26. T. E. Needham, *The Solubility of Amino Acids in Various Solvent Systems*, University of Rhode Island, p. 159 (1970). DOI: <https://doi.org/10.23860/diss-needham-thomas-1970>
27. A.R. de Oliveira, R. Katla, M.P.D. Rocha, T.B. Albuquerque and etc., *Zinc Di(l-prolinate)-Mediated Synthesis of α -Aminophosphonates under Mild Conditions*, Synthesis, 48, p. 4489-4494 (2016). DOI: 10.1055/s-0036-1588065
28. M. Kidwai, A. Jain, R. Poddar, *Zn[(L)proline]₂ in water: A new easily accessible and recyclable catalytic system for the synthesis of pyrazoles*, Journal of Organometallic Chemistry, 696, p. 1939-1944 (2011). DOI: 10.1016/j.jorganchem.2010.09.012
29. A. Krężel, W. Maret, *The biological inorganic chemistry of zinc ions*, Archives of Biochemistry and Biophysics, 611, p. 3-19 (2016). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.abb.2016.04.010>
30. *The SCCS Notes of Guidance for the Testing of Cosmetic Ingredients and Their Safety Evaluation*, available at: https://ec.europa.eu/health/system/files/2021-04/sccs_o_250_0.pdf 25
31. *Regulation (EC) No 1223/2009 of the European Parliament and of the Council of 30 November 2009 on cosmetic products*, available at: <https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009R1223&from=EN>

Авторлар туралы мәлімет:

Пазылбек С.А. – PhD, «математика және информатика» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Ж.А.Тәшенев атындағы Университет, Қонаев даңғылы 21, 160012, Шымкент, Қазақстан

Карейва А. – академик, профессор, химия және геоғылым факультетінің деканы, Вильнюс университеті, Наугардуко көшесі 24, LT-03225, Вильнюс, Литва

Жакупбаев Б.Е. – PhD, қауымдастырылған профессор, Академик Ә.Қуатбеков атындағы Халықтар достығы университетінің Инженерлік-технологиялық хабтың бас ғылыми қызметкері, «мұнай және құрылыс өндірісі» кафедрасының профессоры, Төле би көшесі 32, 160000, Шымкент, Қазақстан

Ескермесов Д.К. – PhD, Физика орталығының қауымдастырылған профессоры, КЕАҚ «Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» Халықаралық Инженерия Мектебінің жетекші ғылыми қызметкері, Серікбаев көшесі 19, 070004, Өскемен, Қазақстан

Әбдіқадыр Б.З. – PhD, физика кафедрасының аға оқытушысы, Ө. Жәнібеков ат. Оңтүстік Қазақстан Педагогикалық Университеті, Байтұрсынов көшесі 13, 160012, Шымкент, Қазақстан

Катбаева М.Т. – «математика және информатика» кафедрасының аға оқытушысы, Ж.А.Тәшенев атындағы Университет, Қонаев даңғылы 21, 160012, Шымкент, Қазақстан

Муратбекова У.А. – «математика» кафедрасының магистр оқытушысы, Ө.Жәнібеков атындағы Оңтүстік Қазақстан педагогикалық университеті, Байтұрсынов көшесі 13, Шымкент қ., Қазақстан.

Алипбекова Ж.К. – PhD, «физика» кафедрасының аға оқытушысы, жаратылыстану ғылымдары мен педагогика факультеті, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Тәуке хан даңғылы 5, Шымкент 160012, Қазақстан.

Төлеуханова Ж.Т. – хат-хабар авторы, КЕАҚ «Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» Халықаралық Инженерия Мектебінің аға оқытушысы, Серікбаев көшесі 19, 070004, Өскемен, Қазақстан

Пазылбек С.А. – PhD, ассоциированный профессор кафедры «Математика и информатика», Университет имени Ж.А. Ташенева, проспект Кунаева, 21, 160012, Шымкент, Казахстан.

А. Карейва – академик, профессор, декан факультета химии и геонаук, Вильнюсский университет, ул. Наугардуко 24, LT-03225, Вильнюс, Литва.

Жакупбаев Б.Е. – PhD, ассоциированный профессор, главный научный сотрудник Инженерно-технологического хаба, профессор кафедры «Нефтяное и строительное производство» Университета дружбы народов имени академика А.Куатбекова, улица Толе би, 32, 160000, Шымкент, Казахстан.

Ескермесов Д.К. – PhD, ассоциированный профессор Центра физики, ведущий научный сотрудник Международной школы инженерии НАО «Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева», ул. Серикбаева, 19, 070004, Усть-Каменогорск, Казахстан.

Абдиқадыр Б.З. – PhD, старший преподаватель кафедры физики, Южно-Казахстанский педагогический университет им. О. Жанибеков, ул. Байтұрсынова, 13, 160012, Шымкент, Казахстан.

Катбаева М.Т. – старший преподаватель кафедры «Математика и информатика», Университет имени Ж.А. Ташенева, проспект Кунаева, 21, 160012, Шымкент, Казахстан.

Муратбекова У.А. – преподаватель кафедры «Математика», Южно-Казахстанский педагогический университет имени О. Жанибекова, Шымкент, Казахстан, ул. Байтұрсынова, 13, г. Шымкент, Казахстан.

Алипбекова Ж.К. – PhD, старший преподаватель кафедры «Физика», факультет естественные науки и педагогика, Южно-Казахстанский университет имени М.Ауезова, просп. Тауке хана 5, Шымкент 160012, Казахстан.

Төлеуханова Ж.Т. – автор для корреспонденции, старший преподаватель Международной школы инженерии НАО «Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева», ул. Серикбаева 19, 070004, Усть-Каменогорск, Казахстан.

Pazylbek S.A. – PhD, Associate Professor, Department of "Mathematics and Informatics", Tashenev University, Kunaev Avenue 21, 160012, Shymkent, Kazakhstan.

Kareiva A. – Academician, Professor, Dean of the Faculty of Chemistry and Geosciences, Vilnius University, Naugarduko Str. 24, LT-03225, Vilnius, Lithuania.

Zhakipbayev B.Ye. – PhD, Associate Professor, Chief Researcher, Engineering and Technology Hub, Professor, Department “Oil and Construction Production”, Peoples' Friendship University named after Academician A. Kuatbekov, Tole bi Str. 32, 160000, Shymkent, Kazakhstan.

Yeskermessov D.K. – PhD, Associate Professor, Center of Physics, Leading Researcher, International School of Engineering of the NJSC “D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University”, 19 Serikbayev str., 070004, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

Abdikadyr B.Z. – PhD, Senior lecturer, Department of Physics, South Kazakhstan Pedagogical University named after O. Zhanibekov, Baitursynov str. 13, 160012, Shymkent city, Kazakhstan.

Katbayeva M.T. – Senior Lecturer, Department of "Mathematics and Informatics", Tashenev University, Kunaev Avenue 21, 160012, Shymkent, Kazakhstan.

Muratbekova U.A. – Lecturer, Department of Mathematics, South Kazakhstan Pedagogical University named after O. Zhanibekov, Baitursynov str.13, Shymkent, Kazakhstan.

Alipbekova Zh.K. – PhD, Senior lecturer, Department of Physics, M. Auezov South Kazakhstan University, Tauke Khan Avenue 5, Shymkent 160012, Kazakhstan.

Toleukhanova Zh.T. – correspondence author, project manager, Senior lecturer, International School of Engineering of the NJSC “D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University”, 19 Serikbayev str., 070004, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).