

Пектин: алу жолдары, қасиеттері мен қолданылуы**Айнур Бекболат¹, Нүргүл Сұлтанова^{1*}**¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан; ainurbekbolatqyzy@mail.ru, sultanova_na@enu.kz*Корреспонденция: sultanova_na@enu.kz

Аңдатпа. Бұл мақалада пектин алу, тазарту және құрылымын талдау; биологиялық белсенділігі мен әртүрлі салада қолдану маңыздылығы бойынша әдеби шолу келтірілген. Пектин алу шикізат нысандары ретінде алма, цитрус жемістері, қызылша және тағы басқа шикізаттар пайдаланылады. Пектин шығымының жоғары болуына әртүрлі факторлар: өсімдік нысаны, еріткіш табиғаты, экстракция уақыттары мен температура көрсеткіштері әсер етеді. Пектинді бөлу және тазарту әдістеріне гидролиз (қышқылдық, сілтілік, ферментативті), тұндыру және хроматографиялық әдістері пайдаланылады. Потенциометриялық, кондуктометриялық зерттеулер пектиннің құрылымы мен метоксилдену дәрежесі оның тұтқырлығы және гель түзу қабілеті сияқты функционалдық қасиеттеріне әсер ететінін көрсетеді. Пектиннің құрылымын анықтауға ИҚ, масс-, ЯМР спектроскопия әдістері қолданылады. Пектиндердің биобелсенділігі негізгі тұстары ауыр металдар мен токсиндерді байланыстыру қабілеті, сондай-ақ ішекте қолайлы микрофлораның өсуіне ықпал ететін пребиотикалық қасиеттері жатады. Сонымен қатар, диабетке, бактерияға қарсы, антиоксидантық, цитотоксикалық, қатерлі ісік ауруларын алдын алу, профилактикалық және тағы да белсенділік қабілеттерін көрсетеді. Химия бағытындағы зерттеулер пектинді қоюландырғыш және гелдік қасиетіне қарай – медицинада, косметика, фармацевтикада, тамақ және ауыл шаруашылығы саласында тиімді пайдаланудың жаңа жолдарын ашады, оның экологиялық қауіпсіздігі мен биологиялық белсенділігін басты назарды аударады.

мен

Дәйексөз: Бекболат, А., Сұлтанова, Н. (2025). Пектин: алу жолдары, қасиеттері мен қолданылуы. Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ-нің хабаршысы. Химия. География. Экология сериясы, 151(2), 35-55. <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2025-151-2-35-55>

Академиялық редактор:
Э.Е. Копишев

Редакцияға түсті: 04.10.2024
Түзетілді: 28.03.2025
Қабылданды: 25.06.2025
Басылымға шықты:
30.06.2025



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/>).

Түйін сөздер: пектин, гетерополисахарид, гидролиз, биологиялық белсенділік.

1. Кіріспе

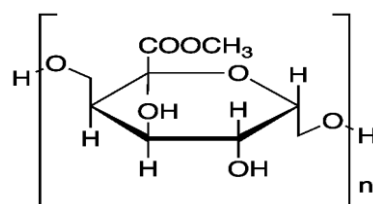
Соңғы онжылдықта пектиннің молекулалық құрылымы мен физиологиялық әсерін тікелей түсінуден бастап өндірістің жаңа әдістері мен олардың қолданылуына дейін айтарлықтай терең білім пайда болды. Жаңа әдістер өсімдіктер мен жемістерде жиі кездесетін күрделі гетерополисахаридті тағамдық гидроколлоид ретінде дәстүрлі пайдаланудан әлдеқайда жоғары жаңа және күтпеген қолдануларға жол ашады. Пектинді заттардың биологиялық және функционалдық қасиеттері маңыздылығын анықтайтын

болғандықтан химия, медицина, косметика, тамақ өнеркәсібі және басқада пайдаланылады. Тамақ өнеркәсібінде – көбінесе желе, джем және мармелад өндірісінде қолданылады. Ол қант пен жеміс шырынын гель тәрізді өнімдерге айналдыру үшін қажет (Rosaria et al., 2022). Әлемдік пектинді өндіру нарығы 2025 жылға қарай 27,9 млрд долларға жетеді деп күтілуде. Пектин – суда еритін анионды биополимер, коммерцияланатын биополимерден ерекшеленеді. 2019 жылы 1 миллиард долларға бағаланған жаһандық пектин нарығы 2025 жылы 1,5 миллиард долларға жетеді деп күтілуде (Freitas et al., 2021). Пектиндік заттар өсімдік шикізаты мен алу әдісіне байланысты әртүрлі құрылымдарды көрсете алады. Осы тұрғыда пектин физикалық, химиялық немесе ферменттік өзгерістерге ұшырайды. Пектиннің құрылымында кездесетін көптеген функционалды топтар әртүрлі функционалдылықты дамыта алады және белгілі бір модификациялар пектинді әртүрлі қолданбаларда қолдануға мүмкіндік береді. Себебі ол қауіпсіз, улы емес, өндіріс құны төмен және жоғары қолжетімді болып саналады. Бірегей қасиеттерінің арқасында пектин әртүрлі салаларда сұранысқа ие зат болып табылады және оны қолдану кеңейе береді. Орталық Азияда өткен ғасырдың 90-шы жылдарының басында алманың сығындысы мен мақтадан пектин тек Өзбекстанда ғана өндірілді. Отандық пектиннің жетіспеушілігін қажеттілікпен салыстырғанда сатып алу көрсеткішімен 20 есе аз (Velyamov et al., 2020). Бүгінгі таңда шетелдік өндірушілердің көпшілігі пектинді ірі жемісті цитрустық жемістерден, Кариб теңізі аралдарынан экспортталатын грейпфрут, мандарин, лимон целлюлозасынан алады. Шикізаттың құрамындағы пектин мөлшері 20-25 пайызға жетеді (Enkuahone, 2018). Бұл салада құрал-жабдықтар мен өндіріс технологиясы, ғылыми зерттеулер нашар дамыған. Осылайша, бұл отандық өндірістердің шетелдік өнім жеткізушілеріне қатты тәуелділігін тудырады. Мақаланың негізгі мақсаты – экологиялық жағынан тиімді шикізат көздерінен пектинді алу әдістері, пектин құрылымын анықтау және биологиялық белсенділігіне байланысты қолдану салаларына шолу жасау.

2. Пектиннің құрылымы мен қасиеттері

Пектиндер – бұл жоғары молекулалық қосылыстар, химиялық табиғаты бойынша гетерополисахаридтер тобына жатады. Олардың құрылымдық негізі полигалактурон қышқылының туындылары болып табылады. Пектинді заттар, негізінен, 1,4 - *L* - гликозидтік байланыстармен байланысқан *D*-галактурон қышқылы қалдықтарынан тұратын молекулалық тізбектен құралады, және олардың конфигурациясы пираноздық болып келеді (Shkolnikova et al., 2017).

Пектиннің құрылымдық формуласы сурет 1-де көрсетілген.



Сурет 1. Пектиннің химиялық формуласы

Пектиндік заттарға ерімейтін протопектин, еритін пектиндік полисахаридтер, сондай-ақ галактандар, арабинандар және арабиногалактандар жатады. Пектинді полисахаридтер гликаногалактурондардың кең тобына кіреді, олар қышқылды өсімдік полисахаридтері болып табылады, ал олардың негізгі көмірсулы тізбегі 1,4-байланысқан α -*D*-галактопиранозилурон қышқылы қалдықтарынан тұрады. Пектинді заттар өсімдік жасушаларында карбоксил топтарының метил эфирлері түрінде кездеседі, олар көбінесе натрий, кальций және магний

тұздары түрінде болады. Бұл заттар өсімдік жасуша қабырғаларының механикалық беріктігін, серпімділігін қамтамасыз етеді, құрғауға, температураның өзгеруіне төзімділікті арттырады және өсімдік ауруларының қоздырғыштарына қарсы қорғаныс қызметін атқарады. Пектиндер метоксилдену дәрежесіне қарай жоғары метоксилденген (50%-дан жоғары) және төмен метоксилденген (50%-дан төмен) болып бөлінеді. Метоксилдену дәрежесі пектиндердің гидролизге төзімділігіне, ерігіштігіне және гельдік қасиеттеріне әсер етеді. Полимерлену дәрежесі пектиндік заттардың гельдену қабілетін анықтайды, ал олардың молекулалық массасы 50 000-нан 200 000-ға дейінгі аралықта болған кезде тиімді гельдену байқалмайды. Молекулалық салмағы 150 000-нан 200 000-ға дейін болғанда, пектиндердің гельдік қабілеті ең жоғары болады.

Пектинді өңдеу және өнімдерге қосу әдістері, оның гельдік қасиеттеріне температура, рН және басқа факторлардың әсері белсенді зерттеу нысаны болып табылады. Соңғы жылдары өңдеу қабығы сияқты жанама өнімдерден алынған пектинді неғұрлым тұрақты және экологиялық таза шикізат ретінде пайдалануға қызығушылық артып келеді. Осыған байланысты, организмнен зиянды заттарды шығаруға көмектесетін өсімдік пектинін пайдалану негізінде халықты детоксикациялаушы қасиеттері бар азық-түлік өнімдерімен қамтамасыз ету өте өзекті және маңызды әлеуметтік мәнге ие.

Пектин көптеген өсімдік түрлерінің жасуша қабырғасының құрғақ затының шамамен үштен бірін құрайтын полисахаридтердің күрделі қоспалары ретінде анықталады. Өсімдіктердегі пектиннің қызметі жасуша қабырғасының құрылымдық тұтастығын және жасушалар арасындағы адгезияны қамтамасыз ету болып табылады. Өсімдік пектиндері суда еритін, хелаторда еритін немесе протопектиндер болуы мүмкін. Экстракция әдістері әрбір нақты өсімдік түрінің нақты құрамына байланысты өзгереді. Мысалы, протопектиндерді ыстық сұйылтылған қышқылдар ерітеді. Пектиннің жалпы құрамы өсімдіктің жетілуіне байланысты өзгереді және өсімдік түріне байланысты ерітіндіге оңай айналады. Пектинді коммерциялық өндіру негізінен цитрус қабығынан және алма сығындысынан алынады, бірақ қант қызылшасы мен күнбағыс бастары сияқты бірнеше басқа көздер бар (Andriyantseva et al., 2022).

3. Пектинді кешен алу және тазарту жолдары және құрамын анықтау

Өнеркәсіптік деңгейде пектин негізінен цитрустық жемістердің қабығынан (85%), алма сығындысынан (14%) және қызылшадан (1%) алынады (Ma, X et al., 2020). Алайда, қазіргі зерттеулер пектинді тамақ өнеркәсібінің көптеген жанама өнімдерінен алуға болатынын көрсетеді, бұл агроөнеркәсіптік қалдықтарды бағалауға мүмкіндік береді. Соңғы жылдары зерттелген кейбір жанама өнімдерге пассифлора қабығы (Freitas et al., 2020), манго қабығы, жүзім сығындысы (Colodel et al., 2020), джекфрут қабығы, киви қабығы (Karbuz et al., 2020), картоп целлюлозасы, қауын қабығы, қарбыз қабығы, кофе целлюлозасы (Reichembach et al., 2020), какао қабығы, банан қабығы, анар қабығы, дуриан қабығы, бамия бұршақтары, асқабақ қабығы және папайя қабығы (Lalnunthar et al., 2020) жатады.

Өнеркәсіптік ауқымда пектин алу үшін әдетте қышқылдық экстракция және спиртпен тұндыру әдістері қолданылады, өйткені олардың орындалу күрделілігі төмен, дегенмен энергия мен еріткіш шығындары жоғары (Freitas et al., 2020). Қышқылдық экстракция, әдетте, протопектинді жоғары температурада гидролиздеу процесіне негізделген. Көптеген зерттеушілер әртүрлі қышқыл еріткіштер мен экстракция жағдайларының (рН, температура, уақыт және қатты зат: сұйықтық арақатынасы) экстракция өнімділігіне, құрылымына және пектиннің физика-химиялық қасиеттеріне әсерін зерттеді. Көп жағдайда күкірт қышқылы, тұз қышқылы немесе лимон қышқылы жоғары температурада (60–90°C) ұзақ уақыт бойы (1–6 сағат) қолданылып, кейін спиртпен тұндыру жүргізілген (Sun et al., 2020).

Соңғы жылдары бұл дәстүрлі әдістерге байланысты ағынды сулардың түзілуінен туындайтын экологиялық мәселелерді шешу үшін қышқылдық экстракцияға балама әдістер зерттелді. Жасыл химияның кең таралуымен жаңа экстракция әдістері ретінде келесі

технологиялар ұсынылған: микротолқынды экстракция (MAE) (Arrutia et al., 2020), ультрадыбыстық экстракция (UAE) (Jafarzadeh-Moghaddam et al., 2020), субкритикалық су экстракциясы (SWE) (Li et al., 2019), терең эвтектикалық еріткіштермен экстракция (DES), табиғи терең эвтектикалық еріткіштермен экстракция (NADES) (Liew et al., 2018), импульстік электр өрісі (PEF) және осы әдістердің комбинациясы (Gharibzahedi et al., 2019). Пектин экстракциясының балама әдістері туралы толығырақ ақпарат Фрейтас және басқалардың, сондай-ақ Адетунджи және басқалардың шолу еңбектерінде берілген (Adetunji et al., 2019).

Қазіргі кезде пектин алудың дәстүрлі технологиясы «қышқыл-спирт» экстракция әдісі. Пектинді алу сатылары шикізатты дайындау, өсімдік массасын гидролиздеу, пектинді этил спиртімен немесе металл тұздарымен коагуляциялау кезеңдерінен тұрады. Өсімдік ұлпаларынан пектин алу үшін ыстық су, тұз, күкірт, азот, күкірт және қымыздық қышқылдарының ерітінділері, аммоний оксалаты мен аммоний цитраты, полифосфаттар қолданылады. Экстракцияланған пектиннің қасиеттері тек экстракция әдістеріне ғана емес, сонымен қатар жаңа, жақсы кептірілген немесе жартылай кептірілген болуы мүмкін шикізаттың күйіне байланысты. Құрамында пектині бар шикізатты дәстүрлі өндірістік сызбанұсқасы бойынша гидролиз минералды, органикалық қышқылдармен және олардың комбинацияларымен, сонымен қатар сілтілермен жүргізіледі. Экстракциялық агенттер мен гидролиз режимдерін таңдау шикізаттың түріне байланысты. Протопектиннің қышқылдық гидролизінің технологиясы күрделі және кейбір жағдайларда ұзақ. Метил эфирлерінің ішінара гидролизі метокситоптардың толық гидролизі кезінде гельдік қабілетінің төмендеуіне әкелетінін ескеру қажет, олар полигалактурон қышқылы болып табылатын пектикалық қышқылдар түзеді. Пектиндік заттарды алу кезінде пектинді бөліп алу процесі метокситоптардың гидролизін болдырмайтындай етіп жүргізілуі керек, бұл геледену қабілетінің төмендеуіне әкеледі. Протопектиндердің пектиндерге айналуының ең төменгі дәрежесі сәбізде, ең жоғарысы алмада байқалады. Цитрус пен қызылша протопектиндері аралық орынды алады. Алынған нәтижелер зерттелетін шикізаттың жасушалық құрылымының ерекшеліктерімен ғана емес, сонымен қатар талшық пен пектин арасындағы күрделі эфирлік байланыстың активтену энергиясымен және қышқылдың шабуылдаушы протонымен түсіндіріледі (Goguyachiy et al., 2006). Зерттеу жұмыстарын талдай отыра гидролиз процесінің жылдамдығына әсер ететін негізгі факторлар: өсімдік ұлпасының ісіну жылдамдығы және қышқылдың жасушаға ену жылдамдығы, экстрагенттегі қышқылдың концентрациясы, процестің температурасы және оның ұзақтығы. Бұл факторлардың өзара әрекеттесу сипаты күрделі. Процестің әртүрлі кезеңдерінде бірдей фактор әртүрлі әсер етуі мүмкін және нәтижесінде гидролиздің жылдамдығы мен бағыты қажеттіден айтарлықтай ауытқуы мүмкін. Мысалы, температураның жоғарылауы процестің көптеген кезеңдерін жылдамдатады (протопектинді ыдырату үшін өсімдік жасушасына қышқылдың ісінуі және енуі), бірақ пектин молекуласының ыдырауы мен деполимеризациясына ықпал етеді және осылайша пайда болған пектиннің сапасын айтарлықтай нашарлатады.

Өсімдік шикізатынан әртүрлі температурада, экстрагент табиғаты және түрлі уақыт параметрін өзгерту арқылы пектинді кешен алынады. Жоғарыда аталған өсімдік шикізатын алдын-ала дайындап, дистилденген су арқылы экстракцияланады. Сосын гидролиз 37-80°C температурада жүргізіледі, уақыты 1-5 сағат аралығы алынады. Пектинді қағаз сүзгісі арқылы сүзеді, ауада кептіреді және ұсақтайды. Мысалы, Ресей ғалымдары Тры А.В. және Махеева Л.А. зерттеулерінде, әртүрлі жидектер мен жемістерден шырын сығу барысында бос төмен эфирленген, төмен молекулалық пектиндер алынған. Пектиндер целлюлозамен байланысқан күйде (протопектиндер) помада қалады, олар 55-90°C температурада қышқылдандырылған (pH=1,5-3,1) сумен экстракцияланады. Экстракцияның шарттары қажетті пектин фракциясына байланысты өзгеріп отырады. Алынған сығындыдан пектин спиртпен тұндырылады, содан кейін этерификация дәрежесі метоксилдену арқылы реттеледі. Соңғы кезеңде пектин кептіріледі, ұнтақталады және стандарттау процесі жүргізіледі (Try et al., 2014).

Басқа ғалымдар жеміс-көкөніс өндірісінің қайталама өнімдерінен пектин сығындыларын алудың жетілдірілген технологиясын ұсынды. Өсімдік шикізатынан пектинді алудың сызбасынұсқасы: алдымен шикізатты жуу, кептіру, ұсақтау сатыларымен жүреді. Ұсақталған шикізатты шырынға бөле отыра, сүзу арқылы экстракцияға дайындалады. Экстракциямен алынған пектин фильтрден өткізіліп, спирттік тұндырылғаннан кейін кептіріледі (Matvienko et al., 2023; Preethi et al., 2017).

Какао қабығынан пектинді экстракциялау үшін лимон қышқылы немесе тұз қышқылын экстрагент ретінде рН деңгейі 2,5 немесе 4,0 болған кезде пайдаланды. Лимон қышқылы рН 2,5 кезінде 95°C температурада 3,0 сағат бойы [1:25 (w/v)] шарттарында пектиннің ең жоғары шығымдылығын (7,62%) көрсетті. Алайда, урон қышқылының ең жоғары мөлшері (65,20%) пектинде анықталды, ол суды пайдалана отырып [1:25 (w/v)] 95°C температурада 3,0 сағат бойы алынған. Ал, пектинді алма қалдығынан экстракциялау үшін 5% лимон қышқылымен әртүрлі уақыт аралықтарында (30-80 мин.) және температураларда (50-100°C) көрсеткіштерін өзгерткенде пектиннің ең жоғары шығымдылығы (16,8%) жоғары температурада (100 °C) және 80 минуттық уақыт аралығында қол жеткізілген (Vinay et al., 2022).

Автор Голубин В.А. және тағы да басқа ғалымдар қызылша целлюлозасынан электрохимиялық белсендірілген суды пайдаланып пектин алу технологиясын зерттеді (Golubin et al., 2015).

Пектинді өндірудің балама әдістері өсімдік жасушаларына физикалық әсер ете отырып, дәстүрлі қышқылмен өңдеудің орнын басуды көздейді. Экологиялық таза тәсіл болып табылатын акустикалық кавитациялық экстракция (АСАЕ) грейпфрут қабығының қалдықтарынан пектинді екі сатылы экстракциялау үшін арнайы екі кезеңді және қабықтың әртүрлі бөлшектерінің өлшемдерін ескере отырып қолданылады. Әр түрлі мөлшердегі және әртүрлі сатыдағы қабық бөлшектерінен алынған пектиндердің шығымдылығы, физика-химиялық қасиеттері мен құрылымын болжау екі әдіспен салыстырылады (Wenjun et al., 2017).

Экстракция және гидролиз процестерінде таңдамалдылығы және бөліп-алу мүмкіндіктерінің болмауы қажетсіз қосылыстар мен тіпті қалқыма бөлшектерді жою үшін қосымша әдістерді қолдануды талап етеді. Пектиндік олигосахаридтерді тазарту бойынша ұсыныстар үшін бірнеше әдіс қолжетімді, олардың ішінде центрифугалау, буландыру, тұндыру, адсорбция және сүзу әдістері сапа жағынан кеңінен қолданылады (Joseane et al., 2024). Мембраналық бөлу процедуралары микрофльтрация (MF) және ультрафльтрация (UF) диафльтрациямен (DF) пектинді тазартудың экологиялық таза баламасы ретінде ұсынылған. Мембраналық әдістер полисахаридтерден, мысалы, целлюлоза мен гемицеллюлозадан бөлініп шығатын моносахаридтердің құрамын төмендетуге мүмкіндік береді, бұл дәстүрлі технологиялармен салыстырғанда алынған пектиннің сапасын (мысалы, оның гель түзуші қасиеттерін) арттырады. Сонымен қатар, бұл әдістер басқарудың қарапайымдылығымен, қысым мен температураның қалыпты шарттарымен, сондай-ақ төмен пайдалану және техникалық қызмет көрсету шығындарымен ерекшеленеді (Munoz-Almagro et al., 2020; Baghdadadi et al., 2023).

Қызылша сығындысынан ферментативтік экстракциялау әдісі қанттарды және полисахаридтерден тазалау үшін қолданылады. Пектинді алудың ең заманауи және экологиялық таза әдісі – микробтық тектегі ферменттердің әсеріне негізделген биотехнологиялық әдіс, олар гидролиздеуші агенттер ретінде қолданылады (Velyamov et al., 2016; Filho et al., 2024). Ферментативті гидролиздің бірнеше технологиялық артықшылықтары бар, олардың ең бастысы – пектиннің студен түзуші қасиеттерін сақтай отырып, оның шығымдылығын арттыру. Сондай-ақ пектинді экстракциялау үшін ультрадыбыс қолданылады, әсіресе экстракция процестерін жылдамдату үшін. Ультрадыбыстық тербелістердің әсерінен жасуша қабырғаларының өткізгіштігі артып, пектин заттарының жасушалық құрылымдарының бұзылуына әкеледі (Sun et al., 2024; Larsen et al., 2021).

Пектин алудың ең тиімді әдістерінің бірі - микротолқынды пештің көмегімен экстракция. Микротолқынды сәулелену – бұл 300 МГц-тен 300 ГГц-ке дейінгі жиіліктегі электромагниттік

толқынның бір түрі. Микротолқындар экстракциялық орталарға еніп, материалдардың полярлы компоненттерімен әрекеттесе алады, оларды иондық өткізгіштік және дипольдік айналу механизмдері арқылы жылу энергиясына айналдырады. Бөлінетін жылу массаның алмасу процесін жеделдетіп, пектин, целлюлоза және гемицеллюлоза арасындағы күрделі байланысқан құрылымдарды бұзуға ықпал етеді, бұл пектиннің ерігіштігін арттырып, оны босату деңгейін жоғарылатады (Wu et al., 2023).

Спинеи М. және басқалары микротолқынды технологияны жүзім сығындысынан пектин алу үшін қолданып, экстракцияның оңтайлы шарттарын анықтады: микротолқын қуаты 560 Вт, рН 1,8 және экстракция уақыты 120 с, нәтижесінде пектин шығымы 11,23% болды (Spinei et al., 2022). Пракаш Маран және басқада ғалымдар микротолқынды әдістерді кәді қабығынан пектин алу үшін пайдаланып, ең жоғары шығымды (25,79%) келесі жағдайда алды: микротолқын қуаты 477 Вт, сәулелену уақыты 128 с, рН 1,52 және қатты зат пен сұйықтықтың қатынасы 1:20, 3 г/мл (Prakash Maran et al., 2014). Осылайша, әртүрлі өсімдік шикізаты үшін микротолқынды экстракцияның қуаты мен ұзақтығын оңтайландыру пектиннің шығымы мен сапасын қамтамасыз етуде шешуші рөл атқарады. Микротолқынды экстракция әдістері пектин шығымын арттырып қана қоймай, сонымен қатар дәстүрлі экстракция әдістеріне қарағанда үнемді балама ұсынады. Микротолқынды сәулеленуге байланысты жылдам қыздыру өңдеу уақытын едәуір қысқартады, бұл энергия тұтынудың төмендеуіне және еңбек шығындарының азаюына әкеледі. Сонымен қатар, микротолқынды экстракция кезінде пектин құрылымдарының тұрақтылығы экстракция шарттарына тікелей байланысты. Оңтайлы жағдайларда жоғары температура пектиннің еруін жақсартып, оның функционалдық қасиеттерін сақтай отырып, дәстүрлі қыздыру әдістерінің ұзақ әсерінен туындайтын деградацияны болдырмауға мүмкіндік береді.

Әдістің артықшылықтарында пектиннің жоғары шығымдылығы, этерификация дәрежесі жоғары, гель беріктігі басым. Зерттеулерге сүйенсек, грейпфруттан 2 минуттық микротолқынды пеш көмегімен алынған пектиннің мөлшері 90 минуттық қарапайым экстракция кезеңінен алынған мөлшерімен тең болады (Noma et al., 2011).

Микробтық ферментация әдісі нәтижесінде өсімдік ұлпаларынан пектинді тиімді бөліп шығаратын ферменттер түзіледі. Бұл ферменттер өсімдік материалында болатын күрделі полисахаридтерді таңдамалы түрде ыдырату арқылы пектинді босатады. Цитрустық жемістердің қабығынан пектин алу үшін микробтық ферментацияны қолданып, келесі оңтайлы жағдайларды анықтады: инокулюм мөлшері 10%, ферментация уақыты 40 сағат, ашыту температурасы 36°C, субстраттың рН 7,0 және 1% мочеви́на қосу, нәтижесінде пектин экстракциясының ең жоғары жылдамдығы 21,5% болды. Liu және басқа ғалымдардың *Aspergillus terreus* көмегімен ферментация жүргізу арқылы хурма қабығынан пектин экстракциялады (Liu et al., 2015). Олар ферментацияның оңтайлы шарттарын анықтады: ашыту уақыты 30,09 сағат, температурасы 25°C және бастапқы ортаның рН 6,9. Осы жағдайларда пектин шығымы ең жоғары деңгейге жетіп, 0,449 г/г (экстрагирленген пектин массасы/шикізат массасы) құрады. Айта кету керек, микробтық ферментация әдістерімен алынған пектин жоғары молекулалық массаға ие, химиялық реагенттерді аз қажет етеді, қоршаған ортаны ластамайды, сондай-ақ жақсы гель түзу қасиеттері мен тұрақты сапасы бар (Qi et al., 2020).

Өсімдік шикізатынан құрамында жалпы пектинді кешен алу технологиялық сызбанұсқасы сурет 2-де келтірілген.



Сурет 2. Пектинді кешен алу технологиясы

Экономикалық тұрғыдан алғанда, микробтық ферментация пектин экстракциясының үнемді әрі тұрақты әдісі болып табылады, өйткені ол химиялық реагенттердің аз мөлшерін қажет етеді және табиғи микробтық процестерге негізделеді. Бұл тәсіл дәстүрлі экстракция әдістерімен байланысты өндіріс шығындарын азайтып қана қоймай, жоғары өнімділігі арқасында жалпы тиімділікті арттырады. Сонымен қатар, ферментацияның жұмсақ жағдайлары пектиннің молекулалық құрылымының тұрақтылығын сақтауға көмектесіп, оның деградациясын барынша азайтады және функционалдық қасиеттерін сақтайды. Бұл жоғары сапалы пектин талап етілетін қолдану салалары үшін ерекше маңызды. Осылайша, микробтық ферментация әртүрлі өсімдік көздерінен пектин алудың болашағы зор және экологиялық таза әдісі болып табылады.

Пектинді бөліп алу және оның сипаттамаларын зерттеу үшін гельді өткізгіш хроматография әдісін қолдануға болады. Көбінесе олардың молекулалық салмағы бойынша жақын үш полимер фракциясы бар: $\sim 17\text{--}20$, $\sim 10\text{--}12$ және $\sim 0,5$ кДа. Молекулалық массалық сипаттамалар хроматографиялық бағананы пайдаланып сұйық хроматографта анықталады: мысалы, ұзындығы 300 мм және ішкі диаметрі 8 мм болатын PL Aquagel OН Mixed бағанымен (Англия) Agilent 1260 Infinity. Сондай-ақ, бастапқы шикізатқа және оқшаулау жағдайларына байланысты пектинді оқшаулау үшін басқа әдістерді қолдануға болады (Semenycheva et al., 2020; Khaytmetova et al., 2022).

Экстракциядан кейін пектин сұйық фазада еріп, экстракт түзеді, оны пектин затын бөліп алу үшін әрі қарай бөлу қажет. Бұл процесс пектиннің физикалық және химиялық қасиеттеріне негізделеді. Қолданылатын тазарту әдістері пектиннің химиялық құрамына, молекулалық массасының таралуына, орташа молекулалық массасына және гель түзу қабілетіне айтарлықтай әсер етуі мүмкін. Пектин сығындысы сұйық және тұтқыр сұйықтық, 1,8-2% пектиннен басқа қосымша заттары бар. Пектин құрамындағы қышқылдық ерітінділерде нашар еритін белоктар, жеке полисахаридтер, полифенолдар және т.б. Бұл заттардың барлығы спирт ерітінділерінде ерімейді, сондықтан пектинді спиртпен тұндырғанда онымен бірге тұнбаға түседі және сол арқылы дайын өнімнің сапасына кері әсерін тигізеді. Пектинді сығындыны қосымша заттардан сүзу арқылы тазарту мүмкін емес. Бұл процеске сығындының жоғары тұтқырлығы кедергі жасайды. Ең кең таралған бөлу және тазарту әдістеріне спиртпен тұндыру, тұзбен шөгіндіге түсіру және мембраналық бөлу жатады.

Қытай ғалымдары цитрустық жеміс қабығы қалдықтарынан пектин алу үшін спиртпен тұндыру және тұзбен шөгіндіге түсіру әдістерін қолданып, спиртпен тұндырудың оңтайлы шарттарын анықтады: этанол ерітіндісінің концентрациясы 75%, температура 45°C-тан төмен және тұндыру уақыты 60 минут. Тұзбен шөгіндіге түсіру үшін оңтайлы параметрлер 50 мл пектин экстрактына 5 мл темір хлоридінің қаныққан ерітіндісін қосып, 60°C температурада 60 минут бойы өңдеуді қамтыды. Осы әдіспен алынған пектин ұлттық стандарттарға сәйкес келді. Ұаро және тағы басқа ғалымдар ультрасүзгілеу арқылы тазартылған, содан кейін спиртпен тұндырылған пектинде күл мен ақуыз мөлшері сәйкесінше 1,9 және 4,6 есе азайғанын анықтады (Ұаро et al., 2009). Ультрасүзгілеу алдында молекулалық өткізгіштігі жоғары мембрана қолдану арқылы спиртпен тұндыру процесі ластаушы заттарды, әсіресе күл мен ақуызды, тиімді түрде жояды, бұл пектин өнімінің сапасы мен гель тұзу қасиеттерін жақсарттады.

Пектинді тазарту өте маңызды, өйткені оның тазалығы мен қасиеттері оның қолдану тиімділігіне тікелей әсер етеді. Қазіргі зерттеулерде спиртпен тұндыру, тұзбен шөгіндіге түсіру және мембраналық бөлу сияқты әдістер кеңінен қолданылып, олар пектинді тиімді бөліп, оның биологиялық белсенділігі мен физикалық қасиеттерін сақтауға мүмкіндік береді. Тұндыру шарттары мен параметрлерін (спирт концентрациясы, температура, өңдеу уақыты) дәл бақылау арқылы зерттеушілер сапа стандарттарына сәйкес келетін пектин өнімдерін ала алады. Болашақта технологиялық жетістіктер мен инновациялардың арқасында пектинді тазарту әдістері одан әрі жетілдіріледі деп күтілуде, бұл оның тағам, фармацевтика және басқа салаларда кеңінен қолданылуына ықпал етеді.

Бөгде заттардан пектин сығындысын тазартудың ең тиімді әдісі центрифугалау болып табылады. Центрифугалаудың негізгі көрсеткіші бөлу коэффициенті бірқатар көрсеткіштерге байланысты: заттың тығыздығына, центрифугалау радиусына, ортаның температурасы мен тұтқырлығына, айналу жылдамдығына және т.б. Егер центрифугалау радиусы, ортаның тұтқырлығы, тұндырылған заттың температурасы және тығыздығы тұрақты болса, онда айналу жылдамдығын өзгерту арқылы бөлу коэффициентін басқаруға болады (Kholdorov et al., 2019).

Пектиннің болуын дәлелдеу үшін пектинге калий гидроксиді мен калий перманганатының ерітінділерімен түс түзумен екі сапалық реакция жүргізіледі. Пектинді заттар сілтілермен сары түс түзетіні белгілі. Сондай-ақ, пектинді заттарды калий перманганатының 25% ерітіндісімен әрекеттесу арқылы анықтауға болатыны белгілі, ол әлсіз жасыл түсті флуоресценциямен қарқынды алтын түске ие болады (Ugrekhelidze et al., 2019).

Пектин құрамын сандық анықтау әрқашан ерітінділерде жүргізіледі, сондықтан зерттеу нысаны еріген күйде болуы керек. Қатты қоспалардағы пектинді заттардың ерітіндіге ауысуы сапалы анықтау әдістерін сипаттау кезінде сипатталған, бірақ көбінесе өсімдік нысанын анықтаумен айналысуға тура келеді. Өсімдік шикізатынан пектиндік заттарды алу кезінде экстракция әдістерін пайдаланған және қатаң сақталған жағдайда ғана салыстырмалы нәтижелерге қол жеткізуге болады. Пектинге тән көрсеткіштер: молекулалық массасы, метоксил саны, ацетил саны, суда ерігіштігі, ерітіндінің тұтқырлығы, гельдік қабілеті. Физико-химиялық қасиеттері белгілі әдістер арқылы анықталады. Соның бірі потенциометриялық титрлеу әдісімен бос және эфирленген карбоксил топтарының құрамы $-COOH$, $-OCH_3$ жалпы мөлшері және МЕМСТ 29186-91 бойынша этерификация дәрежесі есептелді. Потенциометриялық титрлеу берілген әдіс негізінде, алкалиметриялық титрлеу негізінде жүргізіледі (Bodaykina et al., 2019).

Пектин молекулаларындағы бос және эфирленген карбоксил топтарының құрамын анықтау үшін эквиваленттік нүктелерді не аралас индикаторлармен, не кондуктометриялық бекітетін қышқылдық-негіздік титрлеу әдістері қолданылады. Бірінші әдіс өте қарапайым, бірақ қазіргі кезде тапшы көрсеткіштерді пайдалануды талап етеді. Кондуктометрияда қосымша реагенттер – ион алмастырғыш шайырлар қолданылады, олар эквиваленттік нүктелерді анықтаудың жеткіліксіз дәлдігімен қатар бұл әдістің елеулі кемшілігі болып

табылады. Осылайша, талданған пектин ерітінділерін оның сорбциялануына байланысты анион алмастырғышпен өңдеу метоксиденген топтардың құрамын және этерификация дәрежесін анықтауда үлкен жүйелі қателік жібереді. Пектин молекулаларының құрамы мен этерификация дәрежесін анықтау үшін біз эквиваленттік нүктелерді жеткілікті сенімді орнатуға және қосымша реагенттер мен тапшы индикаторларды пайдалануды болдырмайтын потенциометриялық титрлеу әдістерін ұсынады. Потенциометриялық титрлеу әдісі кондуктометриялық әдіспен пектиннің бос карбоксил топтарын анықтау кезінде ғана бақылау ретінде қолданылды (Vogt et al., 2016).

Пектинді заттардың ИҚ-спектрлері олардың құрамы мен құрылымы, препараттардың тазалығы, функционалдық топтардың абсолютті және салыстырмалы мөлшері және т.б. туралы ақпаратты қамтиды.

Пектинді заттардың ИҚ-спектроскопиясы саласындағы зерттеулер өте аз және ең алдымен кез келген функционалдық топтардың болуын анықтауға бағытталған. Седакова В.А. және Громова Е.С. пектинді заттардың сапалық талдауын жүргізу үшін цитрус, қызылша және алма пектиндері үлгілерінің ИҚ спектр арқылы зерттеді. Зерттеу барысында үш пектин үлгісінің ИҚ спектрлерінде пектиндердің тән тербеліс жолақтарына сәйкес келетін барлық тербеліс бар: $1740\text{--}1700\text{ см}^{-1}$ диапазонына сәйкес келеді және эфирленбеген карбоксил топтарының болуын көрсетеді. Молекулярлық қаңқаның тербеліс аймағында 1155 см^{-1} , $1105\text{--}1000\text{ см}^{-1}$, 1075 см^{-1} , 1050 см^{-1} , 1025 см^{-1} , 1010 см^{-1} көрсетілген (Khatko et al., 2008). Пектиндерді масс-спектроскопия әдісімен талдау қиынға соғады. Бұл олардың жоғары молекулалық массасымен, жоғары зарядтық күйлерімен және аддукттардың жиналуымен байланысты, масс-спектрометрдің ажырату шектеріне әсер етуі мүмкін. Агата Козиол және басқа поляк ғалымдары зерттеген ферментативті әдіспен алма пектиндерін талдау үшін масс-спектрометрия әдісін қолданған. Масс-спектрлері негізгі бірзарядты иондар $[M^* - H]^-$ арқылы талдау арқылы расталды, олар m/z 731 және 635 мәндерінде $GalA_4Me_1Ac_1$ және $GalA_3Me_1Ac_1$ үшін сәйкесінше анықталды. Сонымен қатар, m/z 634 ($GalA_3\text{--}Me_1Ac_2$) және 555 ($GalA_3Me_1$) мәндеріндегі басқа бірзарядты иондар да кейбір кластерлік иондармен $[2M^* - H]^-$ бірге анықталды. Алма сығындысынан алынған пектинді зерттеуде, сызықтық полимерлік аймақта көрінетін D-галактурон қышқылының (GalA) жоғары құрамы бар екендігі анықталды (Kozioł et al., 2022).

Масс-спектрометрия әдістері изомерлік құрылымдарды анықтауда қолданылады, бұл пектиндердің құрылымын және олардың құрылымдық байланыстарының, соның ішінде пектин құрылымдары арасындағы өзара байланыстарын тереңірек түсінуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, ядролық магниттік резонанс (ЯМР) спектроскопиясы пектинді талдауда салыстырмалы түрде шектеулі әдіс болып табылады, өйткені оның ажыратымдылығы төмен. Пектин үлгілерінен алынған ЯМР спектрлері кең сигналдық тізбектермен (яғни CH_3 және CH_2 топтарымен) 0-2,5 м.ү. аралығында сипатталады. ЯМР спектрлері алма пектинін коммерциялық қолжетімді пектин (PectaSol-C) салыстыру үшін қолданылған.

Бұл мақалада (Hu et al., 2014) ЯМР әдісімен бір мезгілде пектиннің метилденуін, ацетилденуін, феруляция дәрежесін анықтауды біріктіретін жоғары өнімді талдауға болады. Техникалық тұрғыдан алғанда, 80°C көптеген кең таралған ЯМР үлгілері үшін ең жоғары рұқсат етілген температура болып табылады, бұл әдістердің қолданылу мүмкіндігін шектейді.

4. Пектиннің биологиялық белсенділігі мен қолданылуы

Пектиндердің тірі ағзаға биологиялық әсерін зерттегенде олардың ісікке қарсы, аллергияға қарсы, бактерияға қарсы белсенділік және асқазан-ішек жолдарының шырышты қабығына қорғаныш әсер ету механизміне қатысатын адгезиялық қасиеттеріне үлкен мән беріледі. Әртүрлі физика-химиялық қасиеттері бар пектиндердің адгезиялық қабілетін анықтау үшін олардың адгезиялық белсенділігі зерттеледі (Belyaev et al., 2022; Herrera et al., 2022; Emran et al., 2022; Devasvaran et al., 2021).

In vitro және *in vivo* зерттеулерінің нәтижелері бойынша, пектиннен алынған химиялық заттар жасушалардың өсуін баяулатып, апоптозды ынталандыратыны анықталған. Модификацияланған цитрустық пектин (MCP) синергетикалық және аддитивтік әсерлері адам сүт безі қатерлі ісігінің жасушаларында зерттелген. MCP-мен бірге қолданылған BreastDefend (BD) немесе ProstaCaid (PC) полиботаникалық қосылыстары жоғары метастаздық қасиетке ие MDA-MB-231 сүт безі қатерлі ісігінің жасушаларының инвазивтік потенциалын төмендетеді. Сондай-ақ, MCP тышқандарда сүт безі қатерлі ісігінің дамуын тежеп, ісіктің өсуінің негізгі механизмі болып табылатын ангиогенезді азайтуы мүмкін (Roohallah et al., 2024).

Пектиннің антиоксиданттық қабілеті оның металл иондарын хелаттау қасиетімен түсіндіріледі, сонымен қатар бұл қасиет шикізатқа, экстракция әдісіне және пектиннің этерификация дәрежесіне байланысты болады. Әртүрлі шикізаттан алынған метоксильді пектиннің галактурон қышқылының мөлшері 60%-дан жоғары болатын жоғары құрамды түрі алынады. Өңделмеген шикізаттан алынған пектин фенолдарға (19,83–5,94 мг галл қышқылы эквиваленті/г үлгі) бай болып, антиоксиданттық белсенділігі жоғары көрсеткен. Ұйқы безінің холестерин эстеразасы, панкреатикалық липаза және α -глюкозидаза ферменттерінің тежелуі байқалды, ал полифенолдармен байытылған пектиннің белсенділігі жоғарырақ болды (Jiao et al., 2023).

Полисахаридтерден бос радикалдарды жою механизмі әлі толық зерттелмеген, пектиндердің антиоксиданттық белсенділігі химиялық құрамның және аминқышқылдарының қалдықтары, метилденбеген қышқыл топтарының нәтижесі деп болжауға болады. Пектиндердің антиоксиданттық қабілеті олардың құрылымында бос радикалдарды кетіру үшін протондарды немесе электрондарды тасымалдауға қабілетті белсенді карбоксил немесе гидроксил топтары бар GalA фрагменттерінің болуымен байланысты. Яғни, Gala мөлшері неғұрлым жоғары болса, радикалға қарсы белсенділік соғұрлым жоғары болады. Сонымен қатар, RG-I аймақтары көп, тармақталу дәрежесі жоғары және бүйір тізбектері ұзаққырақ пектиндер жақсы антиоксиданттар болуы мүмкін. Төмен молекулалық салмақтағы пектиндер белсенді антиоксиданттар болып табылады, ал тұтқырлығы жоғары ерітінділерде пектин тізбектерінің Gala гидроксил топтары мен бос радикалдар арасындағы өзара әрекеттесуді жеңілдету мүмкіндігі шектеулі деп болжанған. Сонымен қатар, бұл белсенділік көбінесе полисахаридпен конъюгацияланған пектиндік емес компонентті, яғни фенолдық қосылыстарды, ацилденген антоцианиндерді немесе ақуыздарды қолдану арқылы күшейеді және бұл экстракция әдісімен тікелей байланысты. Фенолды қосылыстар көбінесе сутегі мен гидрофобты өзара әрекеттесу арқылы пектиндермен бірге өмір сүреді, ал белоктар N-гликозидтік байланыстар түзеді. Мұндай дизайн үшін сыртқы антиоксидант қажет емес, өйткені пектиннің полифенол компоненті қазірдің өзінде осы қосымша құндылыққа ие. Ананас қабығының LMP-ден тұратын пектин пленкаларының антиоксиданттық белсенділігі сулы және майлы тағамдарға арналған тағамдық аналогтарға сәйкес келді және пектин концентрациясының жоғарылауымен оң корреляцияланды (Picot-Allain et al., 2022). Лимон қабығының қабықшалары антиоксиданттық белсенділікке ие және олардың құрамында эриоцитрин, неоэриоцитрин және 6,8-ди-с- β -глюкозилдиосминнің көп мөлшерінің болуына байланысты радикалдарды жояды. Альбе́до грейпфрут жемістерінің пленкалары флавоноидты кешен ретінде алынды және нарингиннің жоғары болуына байланысты адамның нейрондық жасушаларына *in vitro* антиоксиданттық әсер ететіні хабарланды. Грейпфрут альбе́до пектині митохондриялардың мембраналық потенциалын және тотығу стресіне ұшыраған жасушаларда жасушалық морфологияны сақтайды. Қауын жемістерінің қабығында, інжір қабығында, мангостан қабығында, қара сәбіз сығындыларында, күнбағыс бастары мен сабақтарында, жасыл жаңғақ қабығында, бутоньердің жапырақтарында, бұталы LMP *in vitro* дозаға тәуелді антирадикальды белсенділігі туралы хабарланды. Сонымен қатар, Бұталы тау күлінің пектині тышқандардағы *in vivo* жылу тітіркендіргіштеріне орталық антиноцицептивті әсер етті, оны Трамадол мен парацетамолмен салыстыруға болады. Пектин опиоидтарға ұқсас механизм бойынша супраспинальды және жұлын рецепторлары арқылы ауырсынуды басатын әсерге ие

деп болжады, бұл ауырсынуға жауапты жасушалардағы Ca^{2+} мөлшерін арттыратын бос оттегі радикалдарын жою қабілетімен байланысты. Қара сәбіз тамырының сығындыларынан алынған LMP α -каротин, β -каротин, лютеин және α -токоферолмен бірге алынды, бұл тотығу стресінен қорғаудың тиімділігін арттыруға ықпал етті. Алма сығындылары жағдайында LMP дозаға тәуелді *in vitro* радикалды бейтараптандыру белсенділігі көрсетілмеген, бұл микротолқындардың ұзақ уақыт әсер етуінде жүргізілетін экстракция процесінде пектиннің құрылымдық модификациясына байланысты қалпына келтірілетін полисахаридтердің соңғы топтарының шығарылуына байланысты болуы мүмкін. Бұл жағдайда антиоксиданттық белсенділік пен полифенол құрамы арасындағы байланыс айқынырақ болды. Сонымен қатар, грейпфрут қабығынан, қызыл апельсин қабығынан, алма помадасынан, қызыл чили қабығынан, асқабақ жемісінің целлюлозасынан және баклажан қабығынан алынған көптеген жанама өнімдер анықталды, олар дозаға тәуелді антиоксиданттық белсенділікке ие. Осыған байланысты қызықты нәтижелер мандарин жемісінің қабығындағы НМР-ге қатысты болды, ол алма помадасындағы НМР-ге қарағанда жақсы антиоксидант болып шықты, бірақ екеуі де бос радикалдарды дозаға тәуелді түрде тиімді түрде жояды. Сонымен, қарақат жапырағы және темекі тамыры пектиндері де төмен GalA (<25%) болғанына қарамастан антиоксиданттық белсенділікке ие (Tsirigotis-Maniecka et al., 2024).

Сульфаттану және селенилдеу пектиндердің антиоксиданттық белсенділігін арттырады. Бірінші жағдайда сульфат топтары ерітінділерде жоғары қышқылдық ортаны құра алады, бұл оларға жасуша зақымдануына бос радикалдарды тудыруы мүмкін, мысалы: -ОН және 2,2-дифенил-1 пикрилгидразил (DPPH) радикалдарын электростатика арқылы оңай жоюға мүмкіндік береді (Ogbonna et al., 2022).

Азық-түлік талшықтарының ішінде пектин ең кең таралған патогендік және шартты-патогендік микроорганизмдердің тиімді тежегіші болып табылады. Долана өсімдігінен алынған пектин белгілі бір дәрежеде пектиназамен гидролизге ұшырағанда оның ферментативті ыдырау өнімдері күштірек антимикробтық белсенділік көрсетуі мүмкін. Пектиндер макрофагтардың иммундық белсенділігін тікелей ынталандырып, цитокиндер өндірісін күшейтеді, осылайша иммундық жүйені бірнеше деңгейде реттейді. Лимон пектинінің физика-химиялық қасиеттері, мысалы, этерификация және полимерлену дәрежесі, олардың иммундық жүйеге әсер ету мүмкіндігін анықтайды, бұл пектиндерді иммундық жүйені жақсарту мақсатында қолданудың маңыздылығын көрсетеді (Miletica et al., 2019; Nguyen et al., 2019; Palou et al., 2015). Соңғы жылдары зиянсыз және пайдалы тағам өнімдерін өндіру үшін табиғи микробқа қарсы жүйелерді пайдалану ерекше назар аударуда. Пектиндердің бактерияға қарсы белсенділігі микроорганизмдерге оң және теріс иондардың әсерінен бактерицидтік әрекет көрсетеді. Пектиндердің микробқа қарсы белсенділігі қоздырғышпен индукцияланған бактерияны, теріні, жұмсақ тін инфекцияларын, тіпті адам денсаулығына қауіп төндіретін протездік имплантанттармен байланысты инфекцияларды емдеуде пайдалы. Пектиндерді созылмалы декубитус ойық жараларында, интуицияланған науқастарда эндотрахеальды түтіктерде, несеп катетерлерінде, хирургиялық учаскелерде антибиофильм агенті ретінде де пайдалануға болар еді. Оның үстіне пектиндер пациенттерге ыңғайлы ауыз қуысы қолдану үшін бағдарланған қызықты микробқа қарсы ерітінді болуы мүмкін. Грейпфрут альбедосының LMP-флавоноидты кешені 15 мг/мл концентрацияда *Staphylococcus aureus* және *Pseudomonas aeruginosa* штаммдарына қарсы витрода бактерияға қарсы өте жоғары белсенділік көрсетті. Бұл маңызды қорытынды, себебі *S. aureus* немесе *P. aeruginosa* антибиотиктерге төзімді оппортунистік штаммынан пайда болған инфекцияларды емдеу өте қиын. Бұл штаммдар иммундық микробқа қарсы пептидтер мен бірнеше антибиотиктерге өте төзімді, көбінесе ауыр науқастар мен иммуносупрессиялық науқастарда өлім-жітімнің жоғары болуына әкеледі. Грейпфрут пектинінің ерекше бактерияға қарсы белсенділігі пектинмен бірге өсімдік материалынан алынған пектин мен флавоноидтар (нобилетин және танжеретин) арасындағы синергияның нәтижесі деп ұсынды. Іс жүзінде бұл полифенолдар негізгі ферменттік қызметті (GTPase) тежеп, бактериялардағы температураға

сезімтал ақуыз синтезінің жіпшелерін өзгертуге қабілетті, ақыр соңында жасуша өліміне әкеледі. Бұдан басқа, пектиннің микробқа қарсы белсенділік механизмі жасушалардың бөліну процесі кезінде ақаулардың индукциясына және жасушалардың ұзаруы немесе құлауына әкеліп соғатын бактериялық жасушалар морфологиясының өзгеруіне сүйенуді ұсынды. Осы ерекше грейпфрут фенол-пектин кешені жағдайында бұл везикл процесін тіпті бактериялар жасуша мембранасының бейполярылық аймақтарына енетін хош иісті қосылыстар күшейте алады, соның нәтижесінде сұйықтық физиологиялық өзгереді. Какао пектині муриндік перитонеальды макрофагтардағы азот оксидінің жолын *in vitro*-да белсендіреді, ал өндірілетін NO микроорганизмдерге өте уытты. Пленкаларға қосылған қызғылт сары жеміс қабығының HMP патогенді *Micrococcus luteus*, *Bacillus cereus*, *Enterococcus faecalis* және *Enterobacter sp.* *in vitro* жағына қарай бактерияға қарсы белсенділікті арттыратынын растады. Рикотта ірімшігіне арналған орау пленкасы ретінде қолданылатын қызғылт сары пектин композициясы оның бетінде ашытқы мен зеңнің өсуін кейінге қалдырып, шектеді. Шамасы, қызғылт сары пектин бактериялық таралу мен оттегі диффузиясына қарсы тосқауыл қалыптастыруға көмектескен.

Медицинада пектин асқазан-ішек жолы ауруларын емдеу, қант диабеті мен қатерлі ісік ауруларының алдын алу үшін қолданылады. 2020 жылы әлемде 19,3 миллион ісік ауруы тіркелді, оның 10 миллионы өліммен аяқталды. Мұндай жағдайлардың саны 2040 жылға қарай 47% - ға артады деп есептеледі. Химиотерапия, радиотерапия, иммунотерапия және гендік терапияның үздіксіз жетілдірілуіне қарамастан, өлім негізінен метастаздарға байланысты. Сонымен қатар, ісік жасушалары көрсететін дәріге төзімділік терапияны қиындатады. Пектинмен, атап айтқанда, дене сіңіре алатын молекулалық салмағы төмен кішірек фрагменттерге (MP) ыдырайтын пектинмен жүргізілген зерттеулер метастазды тежеуде рөл көрсетті. Құрылымдық өзгерістер макромолекулада физикалық және химиялық өзгерістерді тудырады, бұл олардың биожетімділігі мен биоактивтілігімен байланысты. Химиялық заттармен, жылумен, радиациямен және ферменттермен модификацияланған МП модификацияланбаған пектингіне қарағанда ісікке қарсы белсенділікке ие (Freitas et al., 2021). Зерттеулер көрсеткендей, MP құрамында бейтарап, төмен тармақталған қант тізбегі бар және галактозаға бай. Бұл компонент галектин-3 (Gal3) құрамындағы көмірсуларды тану доменімен байланысудың керемет қабілетіне байланысты тоқ ішек қатерлі ісігі жасушаларының өсуі мен көші-қонын тежейді. Бұл көп қырлы және прометастатикалық ақуыз ісік жасушаларын химиотерапиялық емдеуге бағыттау үшін тартымды бола отырып, онкологиялық патологияның әртүрлі кезеңдеріне қатысады. Жасуша ішіндегі Gal3 негізгі рөлі-апоптозды реттеу. Бұл байланыс Gal3-тің басқа ақуыздармен және пептидтермен өзара әрекеттесуіне тосқауыл қоюы мүмкін, бұл жасушалардың адгезиясы мен миграциясының дамуын тежеуге және Апоптоздың алдын алуға әкеледі. Сондықтан модификацияланбаған пектин сіңіру және әсер ету үшін тым үлкен болып саналады.

Неопластикалық жасуша апоптозын индукциялау үшін цитотоксикалық препараттармен жүктелген MP дәстүрлі химиотерапияның тиімділігін арттыруы мүмкін. MP-канцерогенездің алдын алу немесе азайту үшін қауіпсіз және улы емес тәсіл. Зерттеулер MP ісікке қарсы механизмдері оның апоптозды тежейтін белсенділігімен байланысты екенін және MP ісік жасушаларын химиотерапиялық препараттарға сенсбилизациялау арқылы әрекет ететінін көрсетеді. Алайда, бұл байланысты нақтылау және апоптозды тудыратын құрылымдарды сипаттау қажет. Gal3 ингибиторын оңтайландыру үшін модификацияланған пектиндердің құрылым-белсенділік және фармакокинетика байланысын зерттеу үшін скринингтік хаттама жасау қажет. Тағамдық пектин тоқ ішекте қысқа тізбекті май қышқылдарына ашытады, олар ішек микробиотасын қалыпқа келтіреді, галектин желісіне әсер етеді, тоқ ішек криптіндегі апоптотикалық ақуыздарды реттейді және крипт колоноциттерінің өсуін жақсартады. Жоғарыда айтылғандардан басқа, кейбір дәлелдер пектиннің иммундық жүйені жақсарта алатындығын көрсетеді. Қазіргі уақытта куркумин сияқты өсімдік тектес қатерлі ісікке қарсы агенттер химиотерапияға балама ретінде бәсекелес болып табылады. Бұл құралдар табиғи көздерден алынған, тіпті жоғары концентрацияда да улы емес және жанама әсерлері

салыстырмалы түрде аз деп саналады. Алайда, куркуминді ауызша қабылдаудың клиникаға дейінгі және клиникалық деректері оның төмен жүйелік биожетімділігін және метаболикалық белсенділікке жоғары сезімталдығын анықтады, бұл куркуминнің ішек пен бауырда кең метаболикалық өзгерістерге ұшырағанын көрсетеді, бұл қатерлі ісікті емдеуде жүйелік пайдалылыққа кедергі келтіреді. Бұл шектеуді жеңу үшін полимерлі мицеллалар, нанокомплекстер, наноэмульсиялар, липосомалар, конъюгаттар және липидті нанобөлшектер сияқты куркуминнің биожетімділігін жақсарту үшін бірнеше жеткізу құралдары сыналды. Дәрі-дәрмектерді жеткізудің перспективалық жүйелері гидрогельдер мен нанобөлшектер сияқты полимерлі дәрілік тасымалдаушыларға дәрі-дәрмектерді қорытындылауды қамтиды. Куркуминнің перспективалы нанотасымалдаушыларының арасында пектин асқазан-ішек эпителийін тиімді кесіп өтуімен ерекшеленеді, сондықтан асқазан-ішек жолындағы метаболикалық шектеулерді айналып өтеді. Сонымен қатар, доксорубин (Dox) онкологияны емдеуде кеңінен қолданылатын тиімді химиотерапия екенін атап өткен жөн. Алайда оның тиімділігі суда ерігіштігінің төмендігімен, қаннан тез шығарылуымен, ісіктердің төмен селективтілігімен, химиотерапия кезінде кардиоуыттылығымен және цитоуыттылығымен таласады. Сондықтан зерттеушілер дәрі-дәрмектерді жеткізудің макромолекулалық жүйелерін зерттеді. Пектиннің бұл мағынада көптеген артықшылықтары бар, соның ішінде жақсы биоүйлесімділік, биологиялық ыдырайтын гидрофильді қасиеттер және реттелетін босату қасиеттері.

Сондай-ақ пектин қан қысымын төмендетуге, холестеринді организмнен шығаруға, зат алмасуды қалыпқа келтіруге, ішек моторикасы мен перифериялық қан айналымын жақсартуға көмектеседі және диеталық тамақтануда кеңінен ұсынылады, жасанды дезинфекциялық заттарға қарағанда қауіпсіз.

Табиғи полимерлі пектин гидрогельдері өзінің ерекше қасиеттерінің арқасында дәрілік заттарды жеткізу саласында кеңінен қолданыс тапты. Олар биосәйкестілігімен, уытсыздығымен, икемді өндірісімен және функционализация мүмкіндігімен ерекшеленеді. Дәрілік заттарды жеткізу жүйесінде гидрогель тасымалдаушысының деградация жылдамдығы белсенді затты мақсатты аймаққа жеткізу процесінде маңызды рөл атқарады (Magamedeminova et al., 2021; Zhang et al., 2022).

Этерификация дәрежесі 25%-дан жоғары емес төмен молекулалық салмақты пектиндер радионуклидтер мен ауыр металдар катиондарын ең тиімді түрде жояды. Пектиндердің бұл түрін дәрілік шөптермен біріктіру тиімділігі жоғары емдік-профилактикалық өнімдердің жаңа түрін жасауға мүмкіндік берді. Пектинді дәрілік шөптермен композицияларда қолдану пектиннің өзінің емдік әсерін арттыруға мүмкіндік береді және сонымен бірге қосымша емдік әсерге ие. Урон қышқылдарының болуы пектиндердің организмнің төзімділігін арттыратынын көрсетеді. Сонымен қатар, пектиндер дәрілік препараттар өндірісінде қосымша зат ретінде қолданылып, пастилкалар, суппозиторийлер, гидрогельдер, таблеткалар, жұмсақ желатинді және тік ішек капсулаларын дайындауда негізгі шикізат болып табылады. Олардың ұзақ уақыт әсер ететін қасиеттері таблеткалар мен препараттардың құрамында қолданылады (Zaitseva et al., 2020; Potryasov et al., 2015).

Пектиннің тіндік инженерияда бірнеше артықшылығы бар: ол биологиялық ыдырайды, биосәйкесті, уыттылығы төмен, антибактериалды қасиеттерге ие және дәрілік заттардың бақыланатын босап шығуын қамтамасыз ететін полимер болып табылады. Соңғы он жыл ішінде пектиннің тіндік инженерияда қолданылуы бойынша жүздеген ғылыми мақалалар жарияланды. Тіндік инженерия – бұл зақымдалған тіндерді биоматериалдар көмегімен қалпына келтіру стратегиясы. Қолайлы уақыт пен қоршаған орта жағдайында пектин негізіндегі қаңқалар (скаффолдар), аутологиялық жасушалар және биомолекулалардан тұратын тіндік инженериялық триаданы қолдану. Бұл жүйе *in vitro* жағдайда тіндердің регенерациясын қамтамасыз етіп, кейіннен оларды *in vivo* трансплантациялау мүмкіндігін ұсынады. Пектин тіндік инженерияда өте перспективалы материал болып саналады, өйткені ол тіндік қаңқа ретінде дайындалғанда, дәрілердің босап шығуын тиімді бақылап, жергілікті

регенеративті белсенділікті жеделдете алады (Rambhia et al., 2015). Сонымен қатар, пектин әртүрлі қосылыстар мен басқа биополимерлер арқылы модификациялануы мүмкін. Тіндік инженерия сияқты қолдану салалары үшін пектин негізіндегі биоматериалды бейімдеу кезінде, онымен жақсы әрекеттесетін және жалпы композициялық материалдың тиімділігін арттыратын биополимерлер мен қосылыстарды таңдау маңызды.

Полисахаридтер мен қосылыстар арасында екі негізгі әрекеттесу механизмі бар: (1) стереохимиялық шектеулер арқылы тебілу және (2) молекулалар арасындағы тартылыс күштері. Мысалы, пектин олигопептид-аргинин-глицин-аспарагин қышқылымен модификацияланған кезде, алынған композит жасушалық адгезия мен дифференциацияны күшейтіп, преостеобласттардың түзілуін пектинге қарағанда тиімдірек ынталандырады (El-Batal et al., 2018).

Соңғы зерттеулерде хитозан негізінде модификацияланған пектин тіндік инженерияда сүйек пен тері сияқты зақымдалған тіндерді қалпына келтіруге арналған қаңқа ретінде зерттелуде. Әдетте, кеуекті пектин негізіндегі тіндік қаңқалар стандартталған әдістер, мысалы, сублимациялық кептіру арқылы жасалады. Хитозан мен пектин біріктірілгенде, олар полиэлектролиттік кешен түзіп, нәтижесінде «ақылды» қаңқа пайда болады. Бұл қаңқа жақсартылған механикалық беріктікке, кеуекті микроструктураға, ісіну қабілетіне, тұрақты сшивкамға және биосәйкестілікке ие болады (Bombaldi de Souza et al., 2019).

5. Қорытынды

1825 жылы пектин табылғаннан бері экстракция үшін пайдаланылатын шикізат көзіне, экстракция әдістеріне, құрылымдық модификацияларына және осы полисахаридтің қолданылуына қатысты көптеген жетістіктерге қол жеткізілді. Осы салаға қызығушылық танытқан зерттеушілер кейінгі өнеркәсіптік қолданбаларды жеңілдету үшін экстракцияны оңтайландыру процесін пайдаланды. Әртүрлі қолданбалар үшін барған сайын маңызды және кең таралған пектиндер бойынша зерттеулердің көбеюі байқалады. Дегенмен, тұрақтылық, идеалды молекулалық салмақ және басқа қосылыстармен өзара әрекеттесу туралы кейбір ақпаратты әлі де зерттеу қажет. Пектин пленкаларын тамақ өнімдерінде қолдануға қатысты көптеген зерттеулерге қарамастан, олардың ет өнімдеріне қолданылуын зерттейтін жұмыстар аз ғана, бұл пектин пленкасының гидрофильді сипатына байланысты тағамның осы түрінде оңай еруіне байланысты болуы мүмкін. Осылайша, бұл фильмдерді азық-түліктің кең ассортиментінде қолдануды жақсарту үшін бұл қиындықты жеңу керек деп санауға болады.

Әртүрлі препараттардың шығарылуын және физиологиялық үйлесімділігін жүктеу және бақылау қабілетіне байланысты пектиндердің жаңартылатын тәсілге сұранысы артып келе жатыр. Болашақта өндірістердің жалпы дамуы күтілуде, өйткені болашақ зерттеу бағыттары биополимерлерге, биотехнологияларға және жаңартылатын көздерге негізделетін болады.

Қорытындылай келе, пектинді жаңа қолданбаларды арнайы жасауға болады, өйткені құрылымдық өзгерістер әртүрлі функцияларға және үлкен биоактивтілікке әкеледі. Дегенмен, пектинді тамақ өнеркәсібінің жанама өнімдері бола отырып, ең алуан түрлі көздерден алуға болатыны ерекшеленеді жасыл шешім (агроөнеркәсіптік қалдықтардың валоризациясына байланысты), бұл экологиялық таза әдістермен байланысты, тұрақты өндіруге және экологиялық таза өнімге мүмкіндік береді. Осы шолуда сипатталған технологиялардың ішінде біз осы полисахаридті жаңа биоактивті құрылымдармен және әртүрлі салаларда қолданылатын функциялармен алу үшін пектиннің деградациясы мен бағытталған модификациясындағы қуатты ультрадыбыстық технологияның әлеуетін атап өтуге болады.

Болашақ қиындықтардың ішінде жасыл химияның бесінші принципін қанағаттандыру үшін еріткішсіз немесе неотерикпен пектинді алуды ерекше атап өтуге болады: Қауіпсіз еріткіштер мен көмекші заттар. Бұл принцип пектиннің құрылымдық модификациялары үшін де қабылдануы керек. Дегенмен, жасыл еріткіштерді пайдалана отырып, мұндай экстракция әдістерін қолдану әдебиетте сирек кездеседі. Осылайша, әлі де толтырылатын білімдегі бұл олқылық бар және жаңа зерттеулер терең эвтектикалық еріткіш (DES), табиғи терең

эвтектикалық еріткіш (NADES) және иондық сұйықтықтар (ILs) сияқты еріткіштерді пайдалануды қарастыруы керек. Пектинді өндіру биозат ретінде медицина, фармацевтика, тамақ өнеркәсібі, биохимияда тағы басқа салаларда қолдану қызығушылық тудырады. Өсімдік шикізаты ретінде экологиялық жағынан таза, қолжетімді және қауіпсіз әртүрлі жеміс-жидектер мен көкөністер қолданылады. Пектинді экстракциялауға арналған коммерциялық көздер өте шектеулі, сондықтан қажетті сапалық сипаттамалары бар пектин алу үшін жаңа шикізат көздерін іздеу немесе қолданыстағы шикізаттарды түрлендіру қажеттілігі туындап отыр. Пектиннің қолдану аясы кең, ол геледік және тұрақтандыру қасиеттерінің арқасында тағам және фармацевтикалық өнімдердің маңызды компоненті болып табылады. Нарықтағы пектингеге деген сұраныс жыл сайын өсіп келеді. Сондықтан пектиндік полисахаридтердің құрылымы мен қасиеттерін тереңірек зерттеу және талдау әдістерін жетілдіру бойынша зерттеулер аса маңызды.

Пектинді бөлу және тазарту әдістеріне дәстүрлі әдістер: гидролиз, экстракция, хроматография пайдаланылады. Заманауи әдістері ультрадыбыс және микротолқынды пеш арқылы пектинді экстракциялау. ИҚ, масс-, ЯМР спекторметрия пектин құрлымының функциональдық топтары анықталады.

Осылайша, пектиннің құрылымдық ерекшеліктері мен физика-химиялық қасиеттері таңдалатын өсімдік шикізатына қарай жаңа әдістерді қолдануға, жетілдіруге және нақты функционалдық мүмкіндіктерге бағыттауға мүмкіндік береді. Болашақта пектинді алу үшін жаңа өсімдік шикізатын, оның ішінде ауылшаруашылық қалдықтарының өсімдіктерін зерттеу қажеттілігін және экологиялық таза, тиімді және энергия үнемдейтін экстракция әдістерін, мысалы, ультрадыбыстық немесе ферментативті әдістерді одан әрі зерттеуді ұсынамыз.

6. Қосымша материалдар: қосымша материалдар жоқ.

7. Авторлық үлестер:

Концептуализация, А.Б. және Н.С.; әдістемесі, Н.С.; бағдарламалық қамтамасыз ету, А.Б.; валидация, А.Б., Н.С. формалды талдау, Н.С.; зерттеу, А.Б.; ресурстар, А.Б.; деректерді өңдеу, Н.С.; жазу - түпнұсқа жобасын дайындау, А.Б.; жазу - шолу және өңдеу, Н.С.; визуализация, Н.С.; жетекшілік, Н.С.; жоба жетекшілігі, Н.С.; қаржыландыру, А.Б. Барлық авторлар қолжазбаның жарияланған нұсқасымен танысып, келісті».

8. Автор туралы ақпарат

Бекболат Айнур - 7M05306-“Физикалық химия” мамандығының магистранты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан көш., 13, Астана, Қазақстан, 010000; e-mail: ainurbekbolatqyzy@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-7126-6944>

Сұлтанова Нұргүл Адайбайқызы - химия ғылымдарының докторы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қажымұқан көш., 13, Астана, Қазақстан, 010000; e-mail: sultanova_na@enu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-7970-9105>

9. Қаржыландыру: Бұл зерттеуде сыртқы қаржыландыру жоқ.

10. Алғыстар: Әкімшілік және техникалық көмектерге алғыс білдіреміз.

11. Мүдделер қақтығыстары: Мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейміз

12. Әдебиеттер тізімі

1. Adetunji, L.R., Adekunle, A., Orsat, V., Raghavan, V. (2017). Advances in the pectin production process using novel extraction techniques: A review. *Food Hydrocoll.* 62, 239–250. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.08.015>

2. Andriyantseva, A.P., Andriyantseva, S.A. (2022). Issledovanie izvlecheniya pektinovykh veshchestv iz mestnogo rastitelnogo syrya [Study of pectin extraction from local plant raw materials Conference Session]. *Agrarnaya nauka-2022: Materialy Vserossiyskoy konferentsii molodykh issledovateley [Agricultural Science-2022: Proceedings of the All-Russian Conference of Young Researchers]*, November 22- 24. RGAU-MSHA im. K.A. Timiryazeva, Moscow.
3. Arrutia, F., Adam, M., Calvo-Carrascal, M.Á., Mao, Y., Binner, E. (2020). Development of a continuous-flow system for microwave-assisted extraction of pectin-derived oligosaccharides from food waste. *Chem. Eng. J.* 395, 125056. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.125056>
4. Baghdadi, F., Nayebzadeh, K., Aminifar, M., Mortazavian, A. (2023). Pectin purification from plant materials. *Macromolecular Research* 318, 753–770. <https://doi.org/10.1007/s13233-023-00167-0>
5. Belyaev, A.G. (2014). Izuchenie poluchennykh pektinovykh biopolimerov v otnoshenii ikh kompleksoobrazuyushchey sposobnosti, adgezivnykh svoystv i svyazyvayushchey sposobnosti k tripsinu [Study of the obtained pectin biopolymers in relation to their complexing ability, adhesive properties, and binding ability to trypsin]. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Chelyabinsk State University]* 4(333), 29–32.
6. Bodyakina, I.M., Bagryantsev, V.A., Kotov, V.V., Lukin, A.L. (2012). Potentsiometricheskoe opredelenie sostava i stepeni eterifikatsii molekul pektina [Potentiometric determination of the composition and degree of esterification of pectin molecules]. *Vestnik VGU. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya [Herald of VSU. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy]* 2, 9–13.
7. Bombaldi de Souza, F.C., Bombaldi de Souza, R.F., Drouin, B., Mantovani, D., Moraes, Â.M. (2019). Comparative study on complexes formed by chitosan and different polyanions: Potential of chitosan-pectin biomaterials as scaffolds in tissue engineering. *International Journal of Biological Macromolecules* 132, 178–189. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.187>
8. Colodel, C., Vriesmann, L.C., Teófilo, R.F., Petkowicz, C.L.O. (2020). Optimization of acid-extraction of pectic fraction from grape (*Vitis vinifera* cv. Chardonnay) pomace, a Winery Waste. *Int. J. Biol. Macromol* 161, 204–213. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.272>
9. Devasvaran, K., Lim, V. (2021). Green synthesis of metallic nanoparticles using pectin as a reducing agent: A systematic review of the biological activities. *Pharmaceutical Biology* 59, 494–503. <https://doi.org/10.1080/13880209.2021.1910716>
10. El-Batal, A.I., Mosalam, F.M., Ghorab, M., Hanora, A., Elbarbary, A.M. (2018). Antimicrobial, antioxidant, and anticancer activities of zinc nanoparticles prepared by natural polysaccharides and gamma radiation. *International Journal of Biological Macromolecules* 107, 2298–2311. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.10.121>
11. Emran, T.B., Islam, F., Mitra, S., Paul, S., Nath, N., Khan, Z., Das, R., Chandran, D. (2022). Pectin: A bioactive food polysaccharide with cancer preventive potential. *Molecules* 27, 7405–7426. <https://doi.org/10.3390/molecules27217405>
12. Enkuahone, A.A. (2018). Extraction of Pectin from Orange Peels and Characterizing Its Physical and Chemical Properties. *American Journal of Applied Chemistry* 6(2), 51-56. <https://doi.org/10.11648/j.ajac.20180602.13>
13. Filho, L., Lima, S., Barbosa, H. (2024). Ultrasound-assisted extraction of pectin from *Spondias purpurea* L. peels residues: Optimization, characterization, and comparison with commercial pectin. *Journal of Food Measurement and Characterization* 18, 4634–4652. <https://doi.org/10.1007/s11694-024-02520-y>
14. Freitas, C.M., Coimbra, J.S., Souza, V.G., Sousa, R.C. (2021). Structure and Applications of Pectin in Food, Biomedical, and Pharmaceutical Industry: A Review. *Coatings* 11, 922-942. <https://doi.org/10.3390/coatings11080922>

15. Freitas, C.M.P., Costa, A.R., Rodrigues, F.Á., Júnior, M.M.J., Dias, M.M., Sousa, R.C.S. (2020). Optimization of pectin extraction from passion fruit (*Passiflora edulis flavicarpa*) using the response surface method. *Braz. J. Dev.* 6, 25609–25625. <https://doi:10.34117/bjdv6n5-132>
16. Freitas, C.M.P., Sousa, R.C.S., Dias, M.M., Coimbra, J.S. (2020). Extraction of pectin from passion fruit peel. *Food Eng. Rev.* 12, 460–472. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09254-9>
17. Gharibzahedi, S.M.T., Smith, B., Guo, Y. (2019). Ultrasound-microwave assisted extraction of pectin from fig (*Ficus carica* L.) skin: Optimization, characterization and bioactivity. *Carbohydr. Polym.* 222, 114992. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.114992>
18. Golubin, V.A., Matvienko, N.A., Fedoruk, V.A., Murach, D.S. (2015). Sposob polucheniya pektina i pishchevykh volokon s ispol'zovaniem elektrokhimicheskii aktivirovannoy vody [Method for obtaining pectin and dietary fibers using electrochemically activated water]. *Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]* 3, 161–165.
19. Goryachiy, N.V., Svitsov, A.A. (2006). Ispol'zovanie membrannoy tekhnologii v proizvodstve pektina [Use of membrane technology in pectin production]. *Membrany. Seriya Kriticheskie Tekhnologii [Membranes. Ser. Critical Technologies]* 1(29), 34–37. <https://chem.msu.ru/rus/journals/membranes/29/html/mb294.pdf>
20. Herrera S., Pacheco N., Ayora-Talavera T., Pech-Cohuo S., Cuevas-Bernardino J. (2022). Advances in the green extraction methods and pharmaceutical applications of bioactive pectins from unconventional sources: A review. *Studies in Natural Products Chemistry* 73, 221–264. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91097-2.00015-7>
21. Homa, B., Farzin, Z.A., Amir, F., Mahdy, M. (2011). Comparisons between conventional, microwave-, and ultrasound-assisted methods for extraction of pectin from grapefruit. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 50, 1237–1243. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2011.08.002>
22. Hu, Q., Xu, J., Chen, S., Yang, F., Li, Y., Wang, Y., Xu, G. (2014). Rice husk-derived carbonaceous adsorbent for efficient removal of chlorinated aromatic hydrocarbons from water. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62, 9864–9871. <https://doi.org/10.1021/jf502679s>
23. Jafarzadeh-Moghaddam, M., Shaddel, R., Peighambaroust, S.H. (2020). Sugar beet pectin extracted by ultrasound or conventional heating: A comparison. *J. Food Sci. Technol.* 58, 2567–2578. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04763-1>
24. Jiao, X., Li, F., Zhao, J., Wei, Y., Zhang, L., Yu, W., Li, Q. (2023). The preparation and potential bioactivities of modified pectins. *Foods* 12, 1016–1029. <https://doi.org/10.3390/foods12051016>
25. Joseane, C.G., Gessica, T.S., Klycia, F.C. (2024). Pectin and pectic oligosaccharides (POS): Recent advances for extraction, production, and its prebiotic potential. *Trends in Food Science & Technology* 155, 104808–104828. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104808>
26. Karbuz, P., Tugrul, N. (2020). Microwave and ultrasound assisted extraction of pectin from various fruits peel. *J. Food Sci. Technol.* 58, 641–650. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04578-0>
27. Khatko, Z.N. (2008). Infekrasnye spektry sveklovichnogo pektina [Infrared spectra of beet pectin]. *Novie Tekhnologii [New Technologies]* 5, 39–46. https://elibrary.ru/download/elibrary_11693282_19051034.pdf
28. Khaytmetova, S.B., Turaeva, A.S., Khalilova, G.A. (2022). Vydelenie i fiziko-khimicheskie kharakteristiki pektina iz syr'ya [Isolation and physicochemical characteristics of pectin from raw materials]. *Vysokomolekulyarnye Soedineniya. Seriya B [High Molecular Weight Compounds. Series B]* 4(64), 283–289. <https://doi.org/10.31857/S2308113922700085>
29. Kholdorov, B.B., Ermatov, O.S. (2019). Ochistka pektinovogo ekstrakta ot ballastnykh veshchestv [Purification of pectin extract from ballast substances]. *Universum: Tekhnicheskie Nauki [Universum: Technical Sciences]* 12(69), 45–46. <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/8594>

30. Kozioł, A., Środa-Pomianek, K., Górniak, A., Wikiera, A., Cyprych, K., Malik, M. (2022). Structural determination of pectins by spectroscopy methods. *Coatings* 12, 546–559. <https://doi.org/10.3390/coatings12040546>
31. Lalnunthari, C., Devi, L.M., Badwaik, L.S. (2020). Extraction of protein and pectin from pumpkin industry by-products and their utilization for developing edible film. *J. Food Sci. Technol.* 57, 1807–1816. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04214-6>
32. Larsen, L.R., Weem, J., Caspers-Weiffenbach, R., Schieber, A., Weber, F. (2021). Effects of ultrasound on the enzymatic degradation of pectin. *Ultrasonics Sonochemistry* 72, 105465–105479. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105465>
33. Li, W.J., Fan, Z.G., Wu, Y.Y., Jiang, Z.G., Shi, R.C. (2019). Eco-friendly extraction and physicochemical properties of pectin from jackfruit peel waste with subcritical water. *J. Sci. Food Agric.* 99, 5283–5292. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9729>
34. Liew, S.Q., Ngoh, G.C., Yusoff, R., Teoh, W.H. (2018). Acid and deep eutectic solvent (DES) extraction of pectin from pomelo (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) peels. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 13, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.11.001>
35. Liu, Z., Yao, L., Fan, C. (2015). Optimization of fermentation conditions of pectin production from *Aspergillus terreus* and its partial characterization. *Carbohydrate Polymers* 134, 627–634. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.08.032>
36. Ma, X., Chen, W., Yan, T., Wang, D., Hou, F., Miao, S., Liu, D. (2020). Comparison of citrus pectin and apple pectin in conjugation with soy protein isolate (SPI) under controlled dry-heating conditions. *Food Chem* 309, 125501. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125501>
37. Magamedeminova, M.M., Korotkikh, V.M., Osokina, M.M. (2021). Pektin: svoystva i pol'za dlya organizma [Pectin: Properties and Benefits for the Body]. *Molodoy uchenyy [Young Scientist]* 7(349), 41–43. <https://moluch.ru/archive/349/78603/?ysclid=m8eesw4x3v884262592>
38. Matvienko, N.A., Frolova, L.N., Yakovleva, S.F., Motina, E.A., Kovaleva, T.S., Yakovlev, A.N. (2023). Poluchenie pektina iz stolovoy svekly kak syr'ya dlya produktov funktsional'nogo naznacheniya [Obtaining pectin from table beets as a raw material for functional products]. *Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]* 85(3), 158–164. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2023-3-158-164>
39. Miletica, S., Nikolic-Kokicb, A., Jovanovic, D., Zeradanin, A., Joksimovica, K. (2023). Investigation of the Antioxidant Role of Acidic and Alkaline Hydrolysates of Pectin Isolated from Quince (*Cydonia oblonga*). *Russian Journal of Bioorganic Chemistry* 49, 147–155. <https://doi.org/10.1134/S1068162023010193>
40. Munoz-Almagro, N., Prodanov, M., Wilde, P.J., Villamiel, M., Montilla, A. (2020). Obtainment and characterisation of pectin from sunflower heads purified by membrane separation techniques. *Food Chemistry* 318, 126476–126480. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126476>
41. Nguyen, B., Pirak, T. (2019). Physicochemical properties and antioxidant activities of white dragon fruit peel pectin extracted with conventional and ultrasound-assisted extraction. *Cogent Food & Agriculture* 5, 1633076–1633089. <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1633076>
42. Ogbonna, C., Kavaz, D. (2022). Development of novel silver-apple pectin nanocomposite beads for antioxidant, antimicrobial and anticancer studies. *Biologia* 77, 879–891. <https://doi.org/10.1007/s11756-021-00993-6>
43. Palou, M., Sanchez, J., Garcia-Carrizo, F., Palou, A., Pico, C. (2015). Pectin supplementation in rats mitigates age-related impairment in insulin and leptin sensitivity independently of reducing food intake. *Molecular Nutrition & Food Research* 59, 2022–2033. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201500222>
44. Picot-Allain, M., Amiri-Rigi, A., Abdoun-Ouallouche, K., Aberkane, L., Djefal-Kerrar, A., Mahomoodally, M., Emmambux, M. (2022). Assessing the bioactivity, cytotoxicity, and rheological properties of pectin recovered from citrus peels. *Food Bioscience* 46, 101550–101680. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101550>

45. Potryasov, N.V., Aksenova, K.N. (2015). Primenenie pektina v razlichnykh tekhnologiyakh [Application of pectin in various technologies]. *Innovatsionnaya nauka [Innovative Science]* 1(2), 20–23.
46. Prakash Maran, J., Sivakumar, V., Thirugnanasambandham, K., Sridhar, R. (2014). Microwave-assisted extraction of pectin from waste Citrullus lanatus fruit rinds. *Carbohydrate Polymers* 101, 786–791. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.09.062>
47. Preethi, R., Anju, K., Dhiman, A., Surekha, A. (2017). Extraction of pectin from ripe pumpkin (Cucurbita moschata Duch ex. Poir) using eco-friendly technique. *Indian Journal of Ecology* 6, 685–689. <https://www.researchgate.net/publication/326113086>
48. Qi, L., Liu-yue, L., Rong, L., Yan, L., Xing-feng, G. (2020). Advances in pectin extraction technology and its effect on quality. *Food Research and Development* 41(7), 205–211. <https://doi.org/10.12161/j.issn.1005-6521.2020.07.035>
49. Rambhia, K.J., Ma, P.X. (2015). Controlled drug release for tissue engineering. *Journal of Controlled Release* 219, 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2015.08.049>
50. Reichembach, L.H., Petkowicz, C.L.O. (2020). Extraction and characterization of a pectin from coffee (Coffea arabica L.) pulp with gelling properties. *Carbohydr. Polym.* 245, 116473. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116473>
51. Roohallah, S.R., Mozghan, G.V., Abdolhossein, T., John, F. (2024). Pectin-associated immune responses in plant-microbe interactions: A review. *International Journal of Biological Macromolecules* 273, 132790. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132790>
52. Rosaria, C., Mario, P., Alexandra, F., Laura, M. (2022). Pectin: New science and forthcoming applications of the most valued hydrocolloid. *Food Hydrocolloids* 127, 107483–107493. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107483>
53. Semenycheva, L.L., Kuleshova, N.V., Mitin, A.V., Belaya, T.A., Mochkina, D.V. (2020). Molekulyarno-massovye kharakteristiki i sorbtionnye svoystva pektina, vydelennogo iz raznykh substratov [Molecular weight characteristics and sorption properties of pectin extracted from different substrates]. *Izvestiya VUZov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya [University Proceedings. Applied Chemistry and Biotechnology]* 10(4), 728–737. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-4-728-737>
54. Shkolnikova, M.N., Averyanova, Y.V. (2017). Pektin kak funktsional'nyy pishchevoy ingredient v sostave zefira [Pectin as a functional food ingredient in marshmallows]. *Vestnik YUUrGU. Seriya «Pishchevyie i biotekhnologii [Bulletin of the SUSU. Ser. Food and Biotechnology]* 5(1), 35–44. <https://doi.org/10.14529/food170105>
55. Spinei, M., Oroian, M. (2022). Microwave-assisted extraction of pectin from grape pomace. *Scientific Reports* 12, 12722. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16858-0>
56. Sun, D., Chen, X., Zhu, C. (2020). Physicochemical properties and antioxidant activity of pectin from hawthorn wine pomace: A comparison of different extraction methods. *Int. J. Biol. Macromol.* 158, 1239–1247. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.052>
57. Sun, Z., Wang, S., Zhou, C., Ma, Z., Qian, F. (2024). Optimization of ultrasound-assisted organic acid extraction of pectin from pomelo peel by response surface methodology and its preliminary characterization. *Biomass Conversion and Biorefinery* 14, 20129–20141. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04200-1>
58. Try, A.V., Mikheeva, L.A. (2014). Vliyanie razlichnykh faktorov na vykhod pektinovykh veshchestv, vydelennykh iz rastitel'nogo syr'ya [Influence of various factors on the yield of pectin substances extracted from plant raw materials]. *Nauchnye vedomosti. Seriya Estestvennye nauki [Scientific News. Series Natural Sciences]* 23(194), 123–128.
59. Tsirigotis-Maniecka, M., Górka, E., Mazurek-Hołyś, A., Pawlaczyk-Graja, I. (2024). Unlocking the potential of food waste: A review of multifunctional pectins. *Polymers* 16, 2670. <https://doi.org/10.3390/polym16182670>
60. Ugrehelidze, N.T., Vasiliev, V.A., Egian, M.A., Kulikova, N.A. (2019). Metody kachestvennogo i kolichestvennogo opredeleniya pektina [Methods for qualitative and quantitative

- determination of pectin Conference session]. *Innovatsionnye tekhnologii v nauke i obrazovanii (ITNO-2019) [Innovative Technologies in Science and Education (ITNO-2019)]*, September 4–14. Divnomorskoye, Russia. <https://doi.org/10.23947/itno.2019.349-353>
61. Velyamov, Sh.M., Dzhingilbaev, S.S., Velyamov, M.T. (2016). Izuchenie vliyaniya ultrazvuka i aktivnogo peremeshivaniya ekstrakta pri fermentativnoy ekstraktsii pektina iz stolovoy svekly na ekstraktore [Study of the influence of ultrasound and active mixing of the extractant during enzymatic extraction of pectin from table beet in an extractor]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy [International Journal of Applied and Fundamental Research]* 7(1), 19–22. <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=9748>
62. Velyamov, Sh.M., Dzhingilbaev, S.S. (2020). Izucheniye vliyaniya aktivnogo peremeshivaniya ekstrakta na vykhod pektina pri fermentativnoy ekstraktsii iz vyzhimok stolovoy svekly [Study of the effect of active mixing of the extractant on the yield of pectin during enzymatic extraction from beetroot]. *Vestnik YUUrGU. Seriya Pishchevyye i biotekhnologii [Bulletin of the SUSU. Ser. Food and Biotechnology]* 3(1), 40–48. <https://doi:10.14529/food200105>
63. Vinay, C., Deblina, B., Swarup, R., Devina, V., Anil, V., Anil, G. (2022). Current advancements in pectin: Extraction, properties, and multifunctional applications. *Foods* 11, 2683–2713. <https://doi.org/10.3390/foods11172683>
64. Vogt, L.M., Sahasrabudhe, N.M., Ramasamy, U., Meyer, D., Pullens, G., Faas, M.M., Venema, K., Schols, H.A., Vos, P. (2016). The impact of lemon pectin characteristics on TLR activation and T84 intestinal epithelial cell barrier function. *Journal of Functional Foods* 22, 398–407. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.02.002>
65. Wenjun, W., Xingzhu, W., Thunthacha, C. (2017). Acoustic cavitation assisted extraction of pectin from waste grapefruit peels: A green two-stage approach and its general mechanism. *Food Research International* 102, 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.087>
66. Wu, B., Gao, K., Guo, Y., Ma, Y., Qiu, C., Song, C., Ma, H. (2023). Research progress on extraction of active components from apple processing waste. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 64, 8384–8398. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2199430>
67. Yapo, B.M. (2009). Pectin quantity, composition and physicochemical behaviour as influenced by the purification process. *Food Res. Int.* 42, 1197–1202. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.06.002>
68. Zaitseva, O., Khudyakov, A., Sergushkina, M., Solomina, O., Polezhaeva, T. (2020). Pectins as a universal medicine. *Fitoterapia* 146, 104676. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2020.104676>
69. Zhang, Y., Dong, L., Liu, L., Wu, Z., Pan, D., Liu, L. (2022). Recent Advances of Stimuli-Responsive Polysaccharide Hydrogels in Delivery Systems: A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 70, 6300–6316. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c01080>

Pectin: methods of extraction, properties and application

Ainur Bekbolat, Nurgul Sultanova

Abstract: This article provides a literature review on the extraction, purification, and structural analysis of pectin, its biological activity, and its significance in various fields of application. Apples, citrus fruits, beets, and other raw materials are used as sources for pectin extraction. Multiple factors influence the high yield of pectin, including the type of plant material, the nature of the solvent, the extraction time, and temperature conditions. Methods such as hydrolysis (acidic, alkaline, and enzymatic), precipitation, and chromatographic techniques are used for pectin separation and purification. Potentiometric and conductometric studies show that the degree of pectin methylation affects its viscosity and gel-forming ability. Infrared (IR) spectroscopy, mass spectrometry, and nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy are used to determine the structure of pectin. The key aspects of pectin's biological activity include its ability to bind heavy metals and toxins and its

prebiotic properties, which promote the growth of beneficial intestinal microflora. Additionally, pectin exhibits antidiabetic, antibacterial, antioxidant, cytotoxic, and cancer-preventive properties. Chemistry research is opening new ways to effectively utilize pectin in medicine, cosmetics, pharmaceuticals, the food industry, and agriculture due to its thickening and gelling properties, as well as its environmental safety and biological activity.

Key words: pectin, heteropolysaccharide, hydrolysis, biological activity.

Пектин: методы получения, свойства и применение

Айнур Бекболат, Нургул Султанова

Аннотация: В данной статье приведен литературный обзор по получению, очистке и анализу структуры пектина, его биологической активности и значимости применения в различных отраслях. В качестве сырья для получения пектина используются яблоки, цитрусовые, свекла и другие растительные материалы. На высокий выход пектина влияют различные факторы: вид растительного сырья, природа растворителя, время экстракции и температурные условия. Для выделения и очистки пектина применяются методы гидролиза (кислотный, щелочной, ферментативный), осаждение и хроматографические методы. Потенциометрические и кондуктометрические исследования показывают, что степень метоксилирования пектина влияет на его вязкость и способность к образованию геля. Для определения структуры пектина используются методы ИК-спектроскопии, масс-спектрометрии и ЯМР-спектроскопии. Основные аспекты биологической активности пектина включают его способность связывать тяжелые металлы и токсины, а также пребиотические свойства, способствующие росту благоприятной микрофлоры кишечника. Кроме того, пектин обладает антидиабетической, антибактериальной, антиоксидантной, цитотоксической активностью и может использоваться для профилактики онкологических заболеваний. Исследования в области химии открывают новые возможности эффективного применения пектина в медицине, косметологии, фармацевтике, пищевой и сельскохозяйственной промышленности благодаря его загущающим и гелеобразующим свойствам, а также экологической безопасности и биологической активности.

Ключевые слова: пектин, гетерополисахарид, гидролиз, биологическая активность.