

FTAMP 65.33.29

Ұ. Минатбек¹ – негізгі автор, | ©
А.Н. Есенгазиева², Д.А. Тлевлесова³, Н.К. Ахметова⁴



¹Магистрант, ²PhD, қауымдас. профессор м.а., ³PhD, қауымдас. профессор,
⁴Техн. ғылым. канд.

ORCID

¹<https://orcid.org/0009-0001-0924-4082> ²<https://orcid.org/0000-0003-2314-2995>
³<https://orcid.org/0000-0002-5084-6587> ⁴<https://orcid.org/0000-0001-7453-2200>



^{1,2,3,4} Алматы Технологиялық университеті,



Алматы, Қазақстан



¹unas2004@icloud.com

<https://doi.org/10.55956/TUUN3950>

ГЛЮТЕНСІЗ, ГЛИКЕМИЯЛЫҚ ИНДЕКСІ ТӨМЕН НАН ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӘЗІРЛЕУДІҢ ҒЫЛЫМИ НЕГІЗДЕРІ

Аңдатпа. Глютенсіз диета мен целиак ауруы бидай, қара бидай және арпа құрамында кездесетін ақуыз – глютенге төзбеушілікпен байланысты. Целиак ауруы – иммундық жүйенің глютенге патологиялық жауап беруімен сипатталатын және аш ішектің шырышты қабатын зақымдайтын ауру. Осы себепті қоректік заттардың сіңуі нашарлайды және іштің ауыруы, әлсіздік, дене салмағының төмендеуі сияқты клиникалық белгілер пайда болады. Целиак ауруын емдеудің негізгі және жалғыз тиімді әдісі – құрамында глютені бар тағамдарды толығымен алып тастауға негізделген қатаң глютенсіз диетаны ұстану қарастырылды. Мұндай диета ішектің құрылымы мен қызметін қалпына келтіруге, сондай-ақ науқастың жалпы жағдайын жақсартуға мүмкіндік береді. Қазіргі уақытта глютенсіз диета целиак ауруы бар адамдар арасында ғана емес, сонымен қатар салауатты өмір салтын ұстанатын тұтынушылар арасында да танымал болып келеді.

Тірек сөздер: глютенсіз ұн, целиакция, гликемиялық индекс, диета, глютен, ақуыз, заманауи байытқыштар.



Минатбек, Ұ. Глютенсіз, гликемиялық индексі төмен нан технологиясын әзірлеудің ғылыми негіздері [Мәтін] / Ұ. Минатбек, А.Н. Есенгазиева, Д.А. Тлевлесова, Н.К. Ахметова // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2026. – №2(92). – Б.147-160. <https://doi.org/10.55956/TUUN3950>

Кіріспе. Функционалдық нан өнімдері – адам ағзасын, денсаулықты нығайтуға арналған биологиялық активті қоспалармен байытылған тағам өнімдері. Қазіргі уақытта дұрыс тамақтануға деген қызығушылықтың артуының себебінен мұндай өнімдерге сұраныс тұрақты түрде артып келеді. Қазақстанда және ТМД елдерінде функционалды нан өндірісін дамытудың жоғары әлеуетіне қарамастан, оны кеңінен енгізу бірқатар технологиялық және ұйымдастырушылық қиындықтармен шектеледі. Осыған байланысты функционалды нан өндірісінің тиімділігін арттыру және жетілдіру өзекті ғылыми бағыттардың бірі болып табылады [1].

Қазақстан халқының тамақтануында нан ерекше орын алады, өйткені ол күнделікті тұтынылатын өнім болып табылады. Нан-тоқаш өнімдерінің есебінен ғана қазақстандықтардың 30%-ы ағзаның энергетикалық

қажеттіліктерін, ал 20-30%-ы өсімдік тектес ақуыздардан және 30%-ға дейінгі көмірсулардан алатыны анықталды [2].

Дегенмен, дәстүрлі нан-тоқаш өнімдері адам ағзасына кері әсерін тигізіп, асқазан-ішек жолдарының әртүрлі ауруларын тудырады. Соңғы он жылда ғалымдар дәнді дақылдардағы глютенге төзбеушілік мәселесіне ерекше назар аударуда. Себебі құрамында глютені бар тағамдарды жегеннен кейін аллергиямен ауыратындардың саны көбеюде.

Глютенсіз тағамдар (астық проламиндері) нарық сегменттерінің бірі болып табылады. Сол кезеңде олардың өндірісі 125%-ға өсті [3].

Глютеннің зияны туралы айтпас бұрын, оның не екеніне тоқталайық. Глютен – бидай, қара бидай, арпа сияқты дәнді дақылдарда кездесетін күрделі ақуыз. Ол екі негізгі компоненттен тұрады: қамырға серпімділік беретін глютеин және қамырдың тұтқырлығы мен көтерілу қабілетіне жауап беретін глиадин (спиртте еритін ақуыз фракциясы) [4].

Ауруды тудыратын факторлар: жүктілік, босану, ішек инфекциялары және т.б. Атипті целиак ауруы (науқастардың шамамен 35%) анемия, ауыз қуысының ойық жарасы, артропатия сынды ішектен тыс белгілермен көрінеді. Жасырын немесе үнсіз форманың клиникалық белгілері болмайды, алайда ішектің шырышты қабығында өзгерістер байқалады. Потенциалды пішінде ішектің шырышты қабаты қалыпты, бірақ Т-лимфоциттердің саны жоғары. Торпидті (отқа төзімді) түрі ауыр түрге жатады, емдеуге қарсы және гормонды қолдануды қажет етеді [4].

Целиак ауруы – бұл өмір бойы жалғасатын созылмалы ауру, ол өздігінен жойылмайды. Асқазан-ішек жүйесінде ұзақ уақыт емделмеген жағдайда қатерлі ісік, аутоиммунды аурулар, минералдар мен дәрумендердің жетіспеушілігі көрініс табады. Бұл ауру кальций мен D дәруменінің сінуін бұзады, бұл сүйек жүйесінің деформациясына, темір тапшылығы анемиясына және йод тапшылығына әкеледі. Микрофлораның өзгеруі, лактаза жетіспеушілігі және кейбір тағамдарға аллергиялық реакциялар да пайда болады. Ауру жүйке жүйесіне, қан жүйесіне, теріге және басқа мүшелерге әсер етеді [5].

Ғылыми зерттеулерге шолу және талдау. Целиак ауруы немесе целиак емес энтеропатия – бұл глиадинге жоғары сезімталдығы бар аш ішектің генетикалық анықталған ауруы. Әртүрлі дәрежедегі мальабсорбция синдромының клиникалық көріністерімен аш ішек эпителийінің атрофиясымен сипатталады. Тарихи тұрғыдан целиак ауруы сирек кездесетін ауру болып саналды, негізінен ішек мальабсорбциясының типтік белгілері бар балаларға тән. Дегенмен, целиак ауруы туралы идеялар соңғы онжылдықтарда қарқынды дамып, қазір ол ересектерде жиі кездеседі. Қазіргі уақытта ол ересектер мен балаларда шамамен бірдей дәрежеде диагноз қойылған [6].

Қазақстан Республикасы Денсаулық сақтау министрлігінің 2025 жылғы мәліметтері бойынша Қазақстанда 472 адам глютеннен зардап шегеді. Оның 421-і бала. Біздің елімізде целиак ауруы жыл сайын артып келеді, халық импорттық глютенсіз өнімдерді тұтынады, бірақ бұл науқастар үшін қымбатқа түседі. Елде глютенсіз өнімдер өндірісі жоқ, сондықтан бұл олардың бағасының қымбат болуына себепші болады.

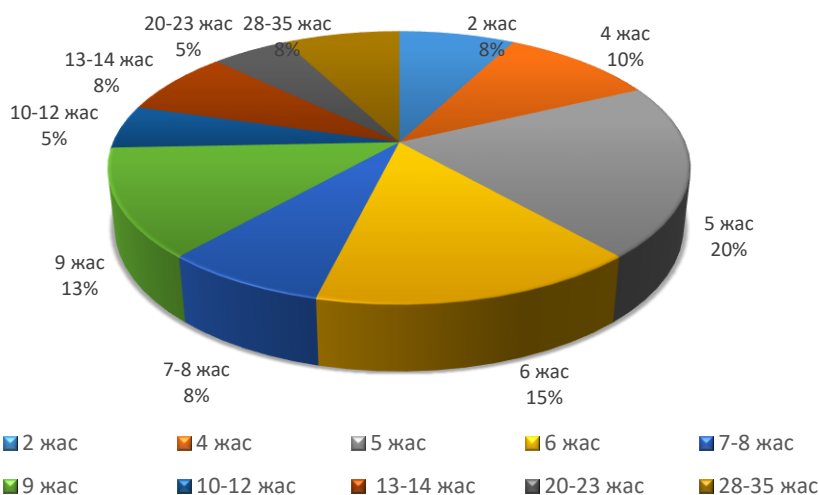
Бүгінгі таңда әлемде әзірленген глютенсіз өнімдердің көптеген технологиялары Америка мен Еуропаның ең ірі фирмалары – Dr.Schaer, Aproten, GLUTANO FARMO (Италия); GULLON (Испания); Bezglutenex, Balviten, Glutenex (Польша); maddys (АҚШ); Milupa, Hammermühle,

Samidamed (Германия); Taranis (Франция); Promin, The Bridge (Ұлыбритания) сынды өндіріс орындарына тиесілі. Олардың барлық өнімдері патенттермен қорғалған және қаптамасында «Gluten-free» белгісі белгіленген.

Алайда өнімдердің бұл санаты өте қымбат және целиак ауруы бар адамдар үшін әрқашан қол жетімді емес екендігі өкініш тудырады. Сонымен қатар, біздің елімізде тиісті таңбаланған өнімдер шығарылмайды. Орташа алғанда, мұндай өнімдердің бағасы дәстүрлі ұн өнімдеріне қарағанда 5-10 есе жоғары.

Қазіргі таңда Қазақстанда қарақұмық, жүгері, күріш, тары, зығыр сияқты дәнді, дәнді-бұршақты және майлы дақылдар жеткілікті көлемде өсірілуде және т.б., олар глютенсіз макарон өнімдерін өндіру үшін ұн өндіру үшін толық шикізат ретінде қызмет ете алады.

Төмендегі 1-суретте целиак ауруы бар науқастардың жас ерекшеліктері көрсетілген.



Сурет 1. Целиакиямен ауыратын науқастардың жас ерекшеліктері.

Суреттен көрсетілгендей, 5 жастағы балалардағы целиак ауруының жиілігі 20% құрайды және жоғарыда аталған жас ерекшеліктерімен салыстырғанда айтарлықтай жоғары көрсеткішке ие. Статистикаға сүйенсек, тіркелгендердің арасында ересектерге қарағанда бұл аурумен ауыратын балалар көп.

Тарихи тұрғыдан алғанда, целиак ауруы негізінен диарея, салмақ жоғалту және өсудің тежелуі сияқты мальабсорбция белгілері еуропалық балалар арасында тіркелген. Алайда, қазіргі уақытта ол барлық жастағы адамдарға, этникалық топтарға әсер етеді және асқазан-ішек жолдарының кішігірім белгілерімен немесе шаршау, анемия және неврологиялық белгілерді қоса, атипті клиникалық көріністермен сипатталады [7].

Целиак ауруы бар адамдар өмір бойы глютенсіз диетаны ұстануы керек. Глютенсіз өнімдерді өндіру үшін пайдаланылатын негізгі шикізаттың тізімі жеткілікті кең емес, негізінен жүгері, күріш және соя ұнымен, сондай-ақ глютенсіз крахмалмен (жүгері, картоп, күріш) шектеледі. Сонымен қатар, жоғары сортты күріш ұны, тары, тәтті люпин ұны және бұршақ ақуызы қолданылады. Ассортименттің әртүрлілігі хош иісті қоспалардың кең спектрімен толықтырылады [8].

Осыған байланысты Fabio Dal Bello (Италия), Elke K. Arendt (Швейцария), Eimear Gallagher (АҚШ), Козубаева Л.А., Вишняк М.Н., Камышева И.М., Костенко В.Г., Лукин Л.В., Макущенко Н.И., Коптлеуова Т.М., Полуботько О.В., Байкенова А.Ө., Павленко Н.Е., Дубровская Н.О., Кузнецова Л.И., Парахина О.И., Савкина О.А., Жаркова И.М., Мирошниченко Л.А., Росляков Ю.Ф., сияқты шетелдік ғалымдардың, сондай-ақ Молдабекова М.К., Исакова Г.К., Мурзахметова М.К., Кулуштаева Б.М. сияқты отандық ғалымдардың еңбектерін атап өтуге болады.

Соңғы онжылдықта целиак ауруының таралуы айтарлықтай өсті. Целиак ауруымен ауыратын адамдардың мөлшері әлем халқының 1%-ын құраса, ал оның таралу деңгейі Еуропа мен Азияда жоғары болып табылады [9].

Целиак ауруының дамуына әсер ететін үш негізгі фактор бар:

1. *Сыртқы фактор* – глютен ақуызына жататын бидай, қара бидай, арпа, сұлы сияқты дәнді дақылдардан пайда болады.

2. *Генетикалық бейімділік* – глютен мен тіндік трансклутаминаза иммундық жүйені байланыстырады және белсендіреді, ішек қабырғасын зақымдайды.

3. *Ішек қабырғасының өткізгіштігінің бұзылуы* – глютеннің фрагменттері зонулиннің жоғары деңгейінен оңай өтеді, бұл үшін иммундық жүйе жауап береді.

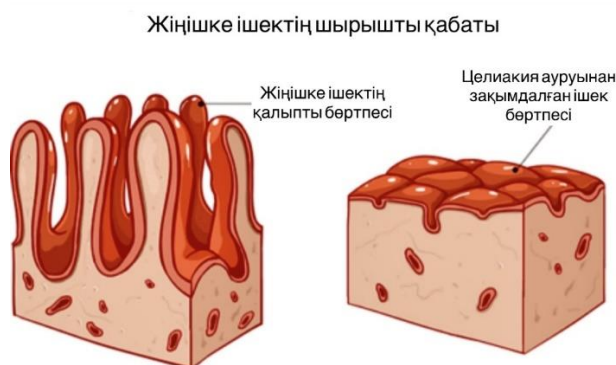
Сондықтан ауру тек генетикалық бейімділігі бар және ішек өткізгіштігі бұзылған адамдарда ғана дамиды. Тұтас дәнді дақылдар глютені бар сау адамдар үшін маңызды қоректік құндылыққа ие болғанымен, олар целиакпен ауыратындар үшін улы болып табылады.

Соңғы жылдары глютенсіз өнімдерге сұраныс жоғары болды. Глютен – бұл екі ақуыздан тұратын зат: глиадин және глютеин. Глиадин адам ағзасына кері әсерін тигізеді. Глютен сөзі латын тілінен аударғанда «желім» дегенді білдіреді. Глютен қоспасы бар ұн қамырға серпімділік пен көтерілгіштік қасиет береді. Глютен бидай мен бидай өнімдерінде (бидай ұрығы мен кебегі), қара бидайда, арпада және ірі ұнтақта болады. Глютен бидайдағы ақуыз салмағының 80% құрайды [8-10].

Қазақстанда глютенсіз өнімдердің өз өндірісінің жоқтығынан өмір бойы диетотерапияны сақтауға мәжбүр болған целиакпен ауыратын науқастарды мамандандырылған тамақпен қамтамасыз ету мәселесі туындап отыр. Бұл мәселе нақты әлеуметтік маңызы бар және адамдардың өмір сүру сапасын қамтамасыз етуде маңызды рөл атқаратын жаһандық категорияларға жатады [11].

Глютенсіз диета (аглютен) – целиак энтеропатиясымен күресудің заманауи әдісі. Қазіргі уақытта адамдарға глютенсіз диетаны, яғни глютенді тұтынудан туындайтын әртүрлі ішек ауруларының алдын алу үшін глютенсіз диетаны ұстануға кеңес беріледі. Глютенсіз диета – құрамында глютен ақуызы бар тағамдардан толығымен бас тартуға негізделген тамақтану жүйесі. Глютен – бұл тағамның құрылымын сақтауға және қамырдың серпімділігін қалыптастыруға көмектесетін ақуыздар тобы. Ол негізінен бидай, арпа, қара бидай сияқты дәстүрлі ұн дайындалатын дәндерде кездеседі. Мысалы, бидай мен қара бидайдың қосындысынан алынған тритикале өсімдігінің буынында болады.

2-суретте қалыпты ішек пен аурудан зардап шеккен ішектің шырышты қабығының айырмашылығы көрсетілген.



Сурет 2. Целиак ауруы немесе глютен әсерінен ішек шырышты қабатының өзгеруі

Глютен құрамындағы глиадин фракциясы иммундық жүйені белсендіреді, соның салдарынан ішектің ішкі бетінде орналасқан бүрлер тегістеліп, гипотрофияға ұшырайды. Бүрлердің зақымдануы қоректік заттардың қалыпты сіңуіне жол бермейді, мальабсорбция белгілерін тудырады.

Аглютенді диетаны қатаң сақтаған кезде глютеннің әсері жойылады, иммундық реакция баяулайды және ішек бүрлері біртіндеп қалпына келеді. Бұл диетаның негізгі мақсаттарының бірі – зақымдалған шырышты қабықты толық қалпына келтіру.

Аглютенді диетаның мақсаты – ағзаның глютен протеиніне теріс реакциясын болдырмау және ішектің шырышты қабығын толығымен қалпына келтіру. Атап айтқанда, біз келесі мақсаттарды қарастырамыз:

– глютенге сезімталдықпен зақымдалған ішек бүрлерін қалпына келтіру. Глютен ішектің шырышты қабығын зақымдайды және қоректік заттардың сіңуін нашарлатады. Диета – бұл ішекті босаңсытып, оның құрылымын қалпына келтірудің жалғыз әдісі;

– қоректік заттардың (темір, кальций, В12, фолий қышқылы) сіңуін жақсарту;

– асқорыту жүйесін қалыпқа келтіру. Іштің ауыруы, іштің кебуі, диарея, іш қату, жүрек айну сияқты белгілерді басқару;

– ұзақ мерзімді қабынулардың алдын алу. Тиімді аглютенді диета остеопороз, бедеулік, мальабсорбция, қатерлі ішек аурулары сынды қауіп-қатерлердің мөлшерін азайтады.

Тыйым салынған өнімдер. Глютеннің негізгі көзі болып табылатын барлық өнімдер толығымен аглютенді диетамен шектеледі. Бұған нан-тоқаш өнімдері, макарон өнімдері, ұн өнімдері, жарма, кейбір тұздықтар, шұжықтар, кондитерлік өнімдер жатады. Сұлы көбінесе бидаймен бірге өңделетіндіктен, айқаспалы ластану қаупі жоғары, сондықтан «глютенсіз сұлы» деп арнайы таңбаланған сұлыға ғана рұқсат етіледі.

Рұқсат етілген өнімдер. Глютенсіз диетада құрамында глютені жоқ дәнді дақылдар мен жалған дәнді дақылдар қолданылады. Олар – күріш, жүгері, қарақұмық, тары, құмай, киноа, амарант, сонымен қатар картоп, бұршақ және көмірсулардың басқа көздері. Өнеркәсіптік өнімдерде «gluten-free» таңбасы болуы керек және глютен мөлшері ≤ 20 ppm стандартынан аспауы тиіс.

Диетаны ұстанудағы қиындықтар мен шектеулер. Аглютенді диетаны ұстану бірнеше кедергілермен сипатталады. Бәрінен бұрын, глютенсіз өнімдердің құны жоғары, өйткені оларды өндіру күрделі, қосымша өңдеуді, таза технологиялық құралдарды және арнайы сертификаттауды қажет етеді. Сонымен қатар, ассортименттің шектеулі болуы біршама елдерде, соның ішінде Қазақстанда да көрініс табады. Бұл ем қабылдаушылардың күнделікті тамақтану жоспарын қиындатады.

Глютенсіз ұнның түрлері: олардың артықшылықтарын, шектеулерін және технологиялық қасиеттерін салыстырмалы талдау

Гликемиялық индекс (ГИ) – тамақ ішкеннен кейін қандағы қанттың (глюкозаның) қаншалықты тез көтерілетінін анықтайтын көрсеткіш. ГИ мөлшері төмендегі кесте бойынша анықталады.

Кесте 1

ГИ мөлшерін анықтау шкаласы

ГИ деңгейі	Сипаттамасы
0-55	Төмен – қант баяу көтеріледі
56-69	Орташа – қант орташа жылдамдықпен көтеріледі
70-100	Жоғары – қант тез көтеріледі

Салауатты өмір салтын ұстанған кезде жаңа, балғын және құнарлы тағамдарды тұтыну өте маңызды. Дәрілік шөптерден тағам дайындау, кептіру және әртүрлі тағамдарда қолдану дұрыс болып саналады. Осындай өнімдердің бірі болып табылатын – амарант ұны. Ол біртекті жаңа дақылдармен біріктірілген ақуыздың, дәрумендер және минералдың, тұздардың жоғары мөлшерімен сипатталады. Амарант дәндері алмастырылмайтын амин қышқылдарына, антиоксиданттарға және минералды заттарға бай. Құрамы бойынша ол елде дәстүрлі түрде өсірілетін көптеген дәнді дақылдардан, атап айтқанда бидай, күріш, соя, жүгері және т.б. дақылдардан жоғары көрсеткішке ие. Гликемиялық индекс (ГИ) мөлшері 45-55 аралығында, яғни орташа және төмен деңгейге жатады [12].

Қарақұмық ұнының құрамында маңызды дәрумендер, минералдар және диеталық талшықтар бар, бұл оны ет өнімдерін байытуға қолайлы етеді. Көмірсулар аз және биологиялық құндылығы жоғары. Ұнды үнемі тұтыну ағзадан токсиндерді кетіруге, жүрек-қан тамырлары жүйесін нығайтуға және өнімнің тағамдық қасиеттерін жақсартуға көмектеседі. Қарақұмық құрамында провитаминдер (каротиноидтар), В1, В2, В3, В6, В8 (инозитол), В9, Е, РР дәрумендері бар. Микро және макроэлементтер: магний, кальций, калий, натрий, фосфор, темір, кремний, марганец, күкірт, селен, мырыш, мыс, хром, никель, йод, кобальт, ванадий, бор және фтор. Органикалық қышқылдар (алма, лимон, қымыздық, малеин және мелон), флавоноидтар, фитоэстрогендер, поликанықпаған қышқылдар (Омега-3) бар [13,14].

Жүгері ұны глютенсіз өнімдер технологиясында кеңінен қолданылатын үнемді және қолжетімді шикізат. Оның құрамында глютен жоқ, көмірсулар көп, ақуыз мөлшері орташа, май мөлшері аз. Сонымен қатар, жүгері ұны В тобындағы дәрумендерге және фосфор мен калий сияқты минералдарға бай. Бұл көрсеткіш оның тағамдық құндылығын арттырады.

Технологиялық тұрғыдан алғанда, жүгері ұны глютенсіз қамырдың құрылымын жұмсартады, дайын өнімнің түсін ашық сары және тартымды етеді, дәмді бейтараптандырады және ұнның кейбір түрлерінде кездесетін

ашылықты азайтады. Бұл глютенсіз нан қоспаларының құрылымын жақсартуға және органолептикалық қасиеттерін оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Дегенмен, жүгері ұнының да белгілі бір шектеулері бар. Оның гликемиялық индексі салыстырмалы түрде жоғары 70-80 құрайды. Диеталық талшықтары аз болғандықтан, бұл ұндарды жеке өзін емес, қарақұмық және жасымық сияқты гликемиялық индексі төмен ұндармен бірге пайдалану ұсынылады. Артық мөлшерде қосқанда дайын өнімнің түйіршіктілігі жоғарылауы мүмкін.

Осыған байланысты жүгері ұнын құрамында 10-15%, гликемиялық индексі төмен және ақуызға бай ұндармен бірге глютенсіз нан өндірісінде қолдану технологиялық және тағамдық жағынан тиімді болып саналады.

Жасымық ұны – глютенсіз нан-тоқаш өнімдерін өндіруде тағамдық және функционалдық құндылығы жоғары дәстүрлі емес шикізат. Оның құрамында глютен жоқ және құрамында ақуыз мөлшері жоғары (22-26%). Бұл глютенсіз тағамдардың тағамдық құндылығын арттыруға мүмкіндік береді және жасымық ұны тағамдық талшықтарға, темірге, мырышқа және В тобындағы дәрумендерге бай.

Гликемиялық индексі төмен болғандықтан (ГИ \approx 30-35) жасымық ұны қанттың қанға баяу сіңуіне ықпал етеді және қант диабетіне бейім адамдарға арналған тағамдарға жарамды болып саналады. Технологиялық тұрғыдан алғанда, бұл қамырдың суды байланыстыру қабілетін жақсартады, оны тығызырақ және біркелкі етеді.

Күріш дүние жүзіндегі дәнді дақылдар арасында ең көп қолданылатын дақыл. Күріш ұнынан жасалған өнімдер тез қорытылады, құрылымы жұмсақ, дәмі мен иісі бейтарап. Күріш басқа дәнді дақылдардан глютеннің, аллергияға әкелетін ақуыздың болмауымен ерекшеленеді. Күріш дәндеріндегі ақуыздар ең аз мөлшерде бар, ал қалғандары күрделі көмірсулар болып табылады, дені сау адамға үздіксіз энергия алу үшін қажет.

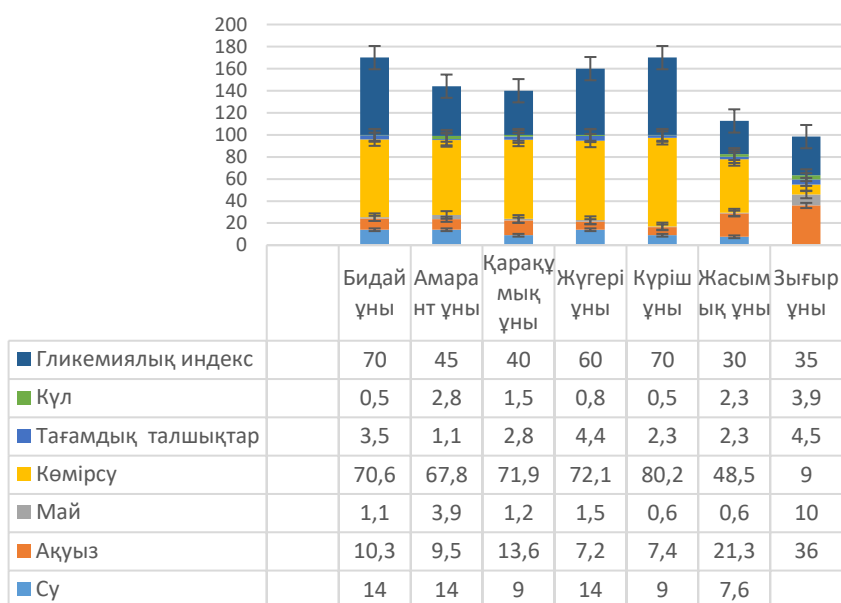
Күріш ұнының құрамында кез келген ағзаға пайдалы дәрумендер мен амин қышқылдары, микроэлементтер мен ақуыздар бар. Оның құрамында полисахаридтер, соның ішінде адам ағзасына жылдам сіңетін крахмал бар, бірақ күріш ұнында талшықтар мен моносахаридтер аз мөлшерде кездеседі.

Күріш ұны табиғи микроэлементтердің, минералдардың және дәрумендердің көп мөлшерінің болуына байланысты кез келген жастағы адамдар үшін, атап айтқанда, тағамды талдап жейтін балалар ағзасы үшін өте пайдалы өнім болып табылады.

Зығырдан жасалған ұн – бұл глютенсіз нан және басқа да функционалды тағам өнімдерін өндіруде кеңінен қолданылатын, биологиялық құндылығы жоғары дәстүрлі емес шикізаттардың бірі болып табылады. Оның құрамында ақуыз мөлшері 18-25% құрайды. Сондай-ақ май қышқылдарына, әсіресе Омега-3 май қышқылдарына бай. Сонымен қатар, зығыр ұнының құрамында еритін және ерімейтін тағамдық талшықтардың мөлшері жоғары, бұл оның функционалдық қасиеттерін анықтайды.

Зығыр ұны төмен гликемиялық индексімен ерекшеленеді, сондықтан қандағы қант деңгейін баяу көтереді. Оны қант диабетіне бейім адамдарға арналған өнімдер құрамында кеңінен қолданады. Технологиялық тұрғыдан алғанда, зығыр ұны суды жақсырақ байланыстырады, қамырдың тұтқырлығын арттырады және псиллиуммен немесе басқа гидроколлоидтармен бірге қолданғанда глютеннің құрылым түзуші қызметін ішінара алмастыруға қабілетті.

Алайда, зығыр ұнының белгілі бір шектеулері бар. Оның майлылығы жоғары болғандықтан, шамадан тыс мөлшерде дайын өнімнің көлемінің азаюына, құрылымының тығыздануына және өзіндік дәмнің айқындалу сезіміне әкелуі мүмкін. Осыған байланысты зығыр ұнын глютенсіз нан өндірісінде 5-7% мөлшерінде, гликемиялық индексі төмен басқа ұн түрлерімен бірге қолдану технологиялық және тағамдық жағынан тиімді болып саналады.



Сурет 2. Бидай ұны мен дәстүрлі емес ұнның химиялық құрамы мен көрсеткіштері

Глютенсіз өнімдерді дайындауда қолданылатын қоюландырғыштар мен тұрақтандырғыштар. Заманауи байытушы қоспалар.

Глютенсіз қамыр – бұл полисахаридтер мен басқа да құрылымды түзуші компоненттерден тұратын, тұтқырлықты арттырып, қамырды тұрақтандыратын заттарды қамтитын өте күрделі жартылай сұйық жүйе. Ол жоғары тығыздығымен және төмен серпімділігімен ерекшеленеді. Глютенсіз қамырда кәдімгі бидай қамырымен салыстырғанда су мөлшері жоғары болады, негізгі шикізаттың табиғатына, оның суды сіңіру қабілетіне және ұнның түйіршіктілігіне байланысты. Сонымен қатар, қамырды илеу процесі де маңызды технологиялық фактор болып табылады. Илеу ұзақтығы мен қарқындылығы дайын өнімнің сапасына әсер етеді. Әсіресе ұзақ уақыт илеу нанның меншікті көлемінің ұлғаюына ықпал етуі мүмкін. Қосымша құрылым түзуші компоненттер енгізілмеген жағдайда глютенсіз өнімнің пішіні тұрақсыз, когезиясы төмен, ал жұмсақ жеткілікті дәрежеде серпімді және иілгіш болмайды [15].

Глютенсіз ұндар, яғни күріш, жүгері, қарақұмық, амарант және т.б. бидай ұнына тән негізгі технологиялық қасиеттерге толығымен ие емес. Өйткені оның құрамында қамырдың созылғыштығы мен серпімділігін сақтайтын глютенді ақуыз, сондай-ақ ашыту кезінде бөлінетін көмірқышқыл газы жоқ. Нәтижесінде глютенсіз қамырдың құрылымы әлсіз, тұтқырлығы

төмен, пішінін жақсы ұстамайды және механикалық кернеулерге жол бермейді. Мұндай қамыр негізінде дайындалған нанның көлемі әдетте төмен болып, жұмсағы үгітілгіш, ал серпімділігі жеткіліксіз болады және нан тез кебеді. Осы себепті глютенсіз нан өндірісінде тағамдық қоспаларды қолдану қажеттілігі туындайды.

Атап айтқанда, гидроколлоидтар, қоюландырғыштар, тұрақтандырғыштар, эмульгаторлар, сондай-ақ ақуыз және диеталық талшыққа бай қоспалар глютеннің құрылым түзуші қызметін ішінара алмастыра алады. Бұл қамырдың реологиялық қасиеттерін жақсартып, газды ұстау қабілетін арттырады және өнім көлемін арттыруға ықпал етеді. Сонымен қатар, аталған қоспалар нан үгінділерінің жұмсақтығын, серпімділігін және біркелкілігін қамтамасыз етеді. Сақтау барысында сапасының тұрақтылығын арттырады. Нәтижесінде глютенсіз нанның құрылымдық және механикалық көрсеткіштері жақсарып, тұтынушылық қасиеттері бидай нанына жақындай түседі.

Крахмал глютенсіз нан және нан-тоқаш өнімдерінің, сондай-ақ глютенсіз дақылдардан жасалған өнімдердің негізгі қоспаларының бірі. Крахмал өнімнің көлемі мен түсіне жауап беретін жұмсағының құрылымын қалыптастыруда маңызды рөл атқарады. Сонымен қатар, крахмал қоюландырғыш, гель түзуші, тұрақтандырғыш және ылғалды байланыстырушы компонент ретінде қызмет етеді. Нанның ескіру (қатаюын) процесін баяулатуға ықпал етеді [16].

Крахмал өсімдіктің көзіне байланысты әртүрлі мөлшері мен пішіндегі түйіршіктер түрінде кездеседі, бұл оның функционалдық қасиеттерінің өзгермелі болуын анықтайды. Мысалы, жүгері, күріш, картоп және тапиока крахмалдары глютенсіз өнімдерде кеңінен пайдаланылады және олардың желатинизация температурасы, суды сіңіру қабілеті және ісіну дәрежесі әртүрлі болады. Аталған көрсеткіштер қамырдың реологиялық қасиеттеріне, пісіру кезінде газды ұстап тұру қабілетіне және нанның меншікті көлеміне тікелей әсер етеді [17].

Сонымен қатар, модификацияланған крахмалдардың глютенсіз нан өндірісіндегі маңызы ерекше. Бұл крахмал түрлері жоғары температураға және механикалық кернеулерге төзімді болады. Қамырдың тұрақтылығын арттыру, пісіру процесінде құрылымның бұзылуын азайту және сақтау кезінде өнім сапасының тұрақтылығын қамтамасыз ету қасиеттеріне жауап береді. Крахмалды басқа гидроколлоидтармен, атап айтқанда ксантан, гуар сағызы, псиллиуммен үйлесімді пайдалану глютенсіз қамырдың құрылымын жақсарта алады және глютеннің құрылымдық қызметін ішінара алмастыра алады. Нәтижесінде дәстүрлі нанға ұқсас өнім алынады, глютенсіз нанның көлемі ұлғаяды, оның жұмсақтығының біртектілігі мен икемділігі артады, тұтынушылық қасиеттері жақсарады [18].

Ең көп тарағандары ферменттік препараттар – *амилазалар*. Олар нан жұмсағының түсін жақсартады және хош иісті қосылыстардың түзілуіне жағдай жасайды. Амилазалар амилопектинді ішінара ыдыратады, осылайша крахмалдың қайта кристалдану процесін жүзеге асырады [19,20].

Трансглутаминаза қамырдың тұтқырлық, серпімділік қасиеттерін арттырып, жұмсағының қаттылығын төмендетеді. Ал *циклодекстриназа* қамырдың тұтқырлығын арттырады, бұл соңында өнімнің пішін индексін жақсаруына және жұмсағының қаттылығына әкеледі.

Гидроколлоидтар. Гидроколлоидтарды қолдану глютенсіз өнімнің сапасы мен қасиеттері үшін өте маңызды. Олар ісініп, гель түзеді. Қыздыру

нәтижесінде пайда болған бұл гель қамыр массасын қоюлатып, газ көпіршіктерінің қабырғаларын түзеді. Бұл илеу, қопсыту немесе пісіру ұнтақтарын пайдалану процесінде бөлінетін газдың жоғалуын болдырмайды. Пісіргеннен кейін гидроколлоидтар жұмсағының құрылымын тұрақтандырып, суды байланыстырады және крахмалдың тез ретроградталуына жол бермейді. Сонымен қатар, олар өнімнің тұрақтылығын қамтамасыз етеді, тіпті мұздату кезінде. Суды байланыстыру қабілеті жоғары болғандықтан, гидроколлоидты құрамдарда су көбірек болады [20]. Ең жиі қолданылатын гидроколлоидтар 2-кестеде көрсетілген.

Кесте 2

Жиі қолданылатын гидроколлоидтар

Атауы	Гидроколлоидтың қызметі
Ксантан – Е415	Табиғи полимер. Суды сіңіріп, желім тәрізді құрылымды құрайтын микроорганизмдерден алынатын табиғи полисахарид. Қамырды серпімді етеді газды газды ұстап тұру қызметін қамтамасыз етеді.
Гуар – Е412	Гуар бұршақтарынан алынатын полисахарид. Қамырдың тұтқырлығын арттырады және ылғалды сақтайды.
Псиллиум	Бұл жолжелкен өсімдігінің қабығынан алынатын талшық. Суды сіңіреді, гель түзеді, қамырдың серпімділігін арттырады.
НРМС (Гидроксипропил-метилцеллюлоза)	Бұл химиялық өңделген целлюлоза туындысы, ол гель түзеді, қамырдың құрылымын тұрақтандырады және оның көлемін арттырады.

Микробтық ашыту немесе ферментация – глютенсіз нан технологиясындағы маңызды процесс. Бұл әдіс негізінен сүт қышқылы бактериялары (*Lactobacillus spp.*) және ашытқылар (*Saccharomyces cerevisiae*) қатысында жүзеге асады. Ашыту қамырдағы көмірсулардың ыдырауын қамтамасыз етеді, көмірқышқыл газының (CO_2) түзілуін арттыру арқылы, нан көлемінің ұлғаюына және жұмсағының жеңіл, кеуекті құрылымына әкеледі.

Глютенсіз қамырда табиғи глютенді тор болмағандықтан, микробтық ашыту айырықша маңызды:

– Қамырдың құрылымын жақсарту – ашыту нәтижесінде пайда болатын органикалық қышқылдар крахмалмен және гидроколлоидтармен әрекеттесіп, жұмсағының біркелкілігін арттырады.

– Дәмі мен хош иісін қалыптастыру – сүт қышқылы бактерияларының алмасуы хош иісті заттар түзе отырып, өнімнің органолептикалық қасиеттерін жақсартады.

– Сақтау мерзімін ұзартуға көмектесу – қышқылдық деңгейінің жоғарылауы микробтардың бөлінуіне және ашытуына жол бермейді.

Ақуыздар глютенсіз тағамдардың тағамдық әсерін жоғарылатады. Ұн немесе басқа да құрамында ақуызы бар өнімді қосу қамырдың реологиялық қасиеттеріне және оның суды байланыстыру қабілетіне ықпал етеді. Ақуыздар крахмалмен және липидтермен әрекеттесіп, қамырдың тұрақтылығын және өнім құрылымын жақсартады. Сонымен қатар, олар өнімнің дәмін толықтырады және оған бай әсер береді. Ақуыздарды өсімдіктерден, мысалы, бұршақ дақылдары, соя, глютенсіз дәнді дақылдар, рапс, күнбағыс, картоп, жануарлардан алынатын сұйытылған сүт ақуыздары,

жұмыртқа, казеин, казеинат немесе микроорганизмдерден, балдырлардан, теңіз балдырларынан және жәндіктерден алуға болады [21].

Ең кең таралған және көп тұтынатын ақуыз негізінен жұмыртқа мен сүт ақуыздарынан алынады. Жұмыртқа құрылымдық торды қалыптастыру үшін өте пайдалы, бірақ ол әдетте нан технологиясында қолданылмайды. Сүт протеиндері, соның ішінде казеинаттар мен сарысу концентраттары кальцийдің көзі болып табылады және суды жақсырақ байланыстыра алады. Олар нан мен нан-тоқаш өнімдерінің түсі мен көлеміне оң әсер етеді.

Қорытынды. Зерттеу нәтижесінде глютенсіз, гликемиялық индексі төмен нан технологиясының ғылыми негіздері анықталды. Целиакиямен ауыратын және қант диабетіне шалдыққан адамдар үшін қарақұмық, амарант, жасымық және зығыр сияқты ГИ төмен ұндардың химиялық көрсеткіштері зерттелді.

Глютенсіз қамырдың құрылымн, функционалды қасиеттерін жақсарту үшін заманауи байытқыштар мен басқа да құрылым түзуші компоненттердің тиімділігі көрсетілді. Ұсынылған глютенсіз нан технологиясы дайын өнімнің сапасын. Көрсеткіштерін арттырып, оны целик және ағзасында қант құрамы жоғары адамдар үшін қолдануға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі

1. Kusainov R. Kazakhstan and The Cis Countries Ways to Increase Bread Production // Вестник науки. – 2024. – № 12(81).
2. Алиев Т.М. Динамика уровня жизни населения в Казахстане (потребление продуктов питания) [Текст] / Т.М. Алиев // Вестник Московского университета. – 2015. – № 13. – С. 16–33.
3. Михалик Д.С. Целиакия: болезнь и образ жизни [Текст] / Д.С. Михалик, Г.В. Жуков, Л.И. Николаенкова, И.С. Козлова, Т.А. Богданова // Земский врач. – 2017. – № 4. – С. 50-51.
4. Leibold B., Sanders D.S., Green P.H.R. Coeliac Disease // Lancet. – 2017. – Vol. 391. – P. 70-81.
5. Leonard M.M., Cureton P.A., Fasano A. Managing coeliac disease in patients with diabetes // Diabetes, Obesity and Metabolism. – 2015. – Vol. 17, No. 1. – P. 3-8.
6. Исаков Б.С. Клинико-лабораторные аспекты диагностики целиакии у взрослых [Текст] / Б.С. Исаков, А.Т. Капасова // Медицина. – 2017. – Т. 9. – № 183. – С. 44-50.
7. Shiha M., Sanders D. What is new in the management of coeliac disease? // European Journal of Internal Medicine. – 2025. – Vol. 134. – P. 1-8.
8. Домбровская Я.П., Аралова С.И. Разработка рецептур безглютеновых мучных кулинарных изделий повышенной пищевой ценности [Текст] // Вестник ВГУИТ. – 2016. – № 4. – С. 142.
9. Singh P., Arora A., Strand T. Global Prevalence of Celiac Disease: Systematic Review and Meta-analysis // Clinical Gastroenterology and Hepatology. – 2018. – Vol. 16. – P. 823-836.e2.
10. Кулуштаева Б.М. Композициялық ұн қосылған глютенсіз нанның қауіпсіздігін қамтамасыз ету [Текст]: дис. ... PhD / Б.М. Кулуштаева. – Семей, 2023. – 178 с.
11. Кулуштаева Б.М. Преимущества использования пшеничного крахмала в хлебопекарной промышленности и ее пищевая безопасность [Текст] / Б.М. Кулуштаева, Г.Н. Нурымхан, Ж.К. Молдабаева // Пища. Экология. Качество: материалы XVI Международной научно-практической конференции. – Барнаул, 2019. – С. 96-100.
12. Кулуштаева Б.М. Изучение амарантовой муки для получения хлебобулочных изделий [Текст] / Б.М. Кулуштаева, Г.Н. Нурымхан // Наука и производство: состояние и перспективы: материалы Международной научно-практической конференции. – Кемерово, 2017. – С. 40-44.

13. Есенгазиева А.Н. Протеолиттік ферментті пайдаланып шұжық өнімдерінің өндірістік үдерісін оңтайландыру [Текст] / А.Н. Есенгазиева, Я.М. Узаков // Вестник университета Шакарима. Технические науки. – 2025. – № 2(18). – С. 186-193.
14. Узаков Я.М. Разработка математической модели прогнозирования качества полукопченых колбас из говядины второго сорта [Текст] / Я.М. Узаков, А.Н. Есенгазиева, Д.А. Тлевлесова, Л.А. Каймбаева, М.Ә. Қалдарбекова // Вестник Алматинского технологического университета. – 2023. – Т. 1. – № 3. – С. 109-117. DOI: 10.48184/2304-568X-2023-3-109-117.
15. Capelli A., Oliva N., Cini E. A systematic review of gluten-free dough and bread: Dough rheology, bread characteristics, and improvement strategies // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10. – Art. 6559. DOI: 10.3390/app10186559.
16. Horstmann S., Lynch K.M., Arendt E.K. Starch characteristics linked to gluten-free products // Foods. – 2017. – Vol. 6. – Art. 29.
17. Palabiyik I., Yildiz O., Toker O.S., Cavus M., Ceylan M.M., Yurt B. Investigating the addition of enzymes in gluten-free flours—The effect on pasting and textural properties // LWT – Food Science and Technology. – 2016. – Vol. 69. – P. 633-641.
18. Motahar S.F.S., Ariaeenejad S., Salami M., Emam-Djomeh Z., Mamaghani A.S.A. Improving the quality of gluten-free bread by a novel acidic thermostable α -amylase from metagenomics data // Food Chemistry. – 2021. – Vol. 352. – Art. 129307.
19. Haghghat-Kharazi S., Kasaai M.R., Milani J.M., Khajeh K. Microencapsulation of α -amylase in beeswax and its application in gluten-free bread as an anti-staling agent // Food Science and Nutrition. – 2020. – Vol. 8. – P. 5888-5897.
20. Zhao F., Li Y., Li C., Ban X., Cheng L., Hong Y., Gu Z., Li Z. Co-supported hydrocolloids improve the structure and texture quality of gluten-free bread // LWT. – 2021. – Vol. 152. – Art. 112248. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112248.
21. Skendi A., Papageorgiou M., Varzakas T. High-Protein Gluten Substitutes in Gluten-Free Bread // Foods. – 2021. – Vol. 10, No. 8. – Art. 1997. DOI: 10.3390/foods10091997.

Материал редакцияға 03.04.26 түсті, 12.06.26 қабылданды.

У. Минатбек¹, А.Н. Есенгазиева¹, Д.А. Тлевлесова¹, Н.К. Ахметова¹

¹Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВА БЕЗГЛУТЕНОВОГО ХЛЕБА С НИЗКИМ ГЛИКЕМИЧЕСКИМ ИНДЕКСОМ

Аннотация. Безглютеновая диета и целиакия связаны с непереносимостью глютена – белка, содержащегося в пшенице, ржи и ячмене. Целиакия – это заболевание, характеризующееся патологической реакцией иммунной системы на глютен и поражением слизистой оболочки тонкой кишки. В результате нарушается всасывание питательных веществ, и возникают клинические проявления, такие как боль в животе, слабость и снижение массы тела. Основным и единственным эффективным методом лечения целиакии является соблюдение строгой безглютеновой диеты, основанной на полном исключении продуктов, содержащих глютен. Такая диета способствует восстановлению структуры и функции кишечника, а также улучшению общего состояния пациента. В настоящее время безглютеновая диета становится все более популярной не только среди людей с целиакией, но и среди потребителей, ведущих здоровый образ жизни.

Ключевые слова: безглютеновая мука, целиакия, гликемический индекс, диета, глютен, белок, функциональные продукты питания.

U. Minatbek¹, A.N. Yessengaziyeva¹, D.A. Tlevlesova¹, N.K. Akhmetova¹

¹Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

SCIENTIFIC BASIS OF GLUTEN-FREE BREAD WITH A LOW GLYCEMIC INDEX

Abstract. Gluten-free diets and celiac disease are associated with gluten intolerance, a protein found in wheat, rye, and barley. Celiac disease is a disease characterized by an abnormal reaction of the immune system to gluten and damage to the mucous membrane of the small intestine. As a result, the absorption of nutrients is disrupted, and clinical manifestations such as abdominal pain, weakness, and weight loss occur. The main and only effective treatment for celiac disease is to follow a strict gluten-free diet based on the complete exclusion of gluten-containing foods. Such a diet helps to restore the structure and function of the intestine, as well as improve the general condition of the patient. Nowadays, a gluten-free diet is becoming increasingly popular not only among people with celiac disease, but also among consumers who lead a healthy lifestyle.

Keywords: gluten-free flour, celiac disease, glycemic index, diet, gluten, protein, functional foods.

References

1. Kusainov R. Kazakhstan and The Cis Countries Ways to Increase Bread Production // Science Bulletin. – 2024. – No. 12(81).
2. Aliev T.M. Dinamika urovnya zhizni naseleniya v Kazakhstane (potreblenie produktov pitaniya) [Dynamics of the standard of living of the population in Kazakhstan (food consumption)] // Moscow University Bulletin. – 2015. – No. 13. – P. 16-33. [in Russian].
3. Mikhailik D.S., Zhukov G.V., Nikolaenkova L.I., Kozlova I.S., Bogdanova T.A. Tseliakiya: bolezni i obraz zhizni [Celiac disease: illness and lifestyle] // Zemskiy vrach [District Physician]. – 2017. – No. 4. – P. 50-51. [in Russian].
4. Leibold B., Sanders D.S., Green P.H.R. Coeliac Disease // Lancet. – 2017. – Vol. 391. – P. 70-81.
5. Leonard M.M., Cureton P.A., Fasano A. Managing coeliac disease in patients with diabetes // Diabetes, Obesity and Metabolism. – 2015. – Vol. 17. – No. 1. – P. 3-8.
6. Isakov B.S., Kapasova A.T. Kliniko-laboratornye aspekty diagnostiki tseliakii u vzroslykh [Clinical and laboratory aspects of celiac disease diagnosis in adults] // Medicine. – 2017. – Vol. 9. – No. 183. – P. 44-50. [in Russian].
7. Shiha M., Sanders D. What is new in the management of coeliac disease? // European Journal of Internal Medicine. – 2025. – Vol. 134. – P. 1-8.
8. Dombrovskaya Ya.P., Aralova S.I. Razrabotka retseptur bezglyutenovykh muchnykh kulinarnykh izdeliy povyshennoy pishchevoy tsennosti [Development of formulations for gluten-free flour-based culinary products with enhanced nutritional value] // Proceedings of Voronezh State University of Engineering Technologies. – 2016. – No. 4. – P. 142. [in Russian].
9. Singh P., Arora A., Strand T. Global Prevalence of Celiac Disease: Systematic Review and Meta-analysis // Clinical Gastroenterology and Hepatology. – 2018. – Vol. 16. – P. 823-836.e2.
10. Kulushtaeva B.M. Kompozitsiyalyk un kosylgan glyutensiz nannyn kauipsizdigin kamtamasyz etu [Ensuring the safety of gluten-free bread with the addition of composite flour]: PhD dissertation. – Semey, 2023. – 178 p. [in Kazakh].
11. Kulushtaeva B.M., Nurymkhan G.N., Moldabaeva Zh.K. Preimushchestva ispol'zovaniya pshenichnogo krakhmala v khlebopekarnoy promyshlennosti i ee pishchevaya bezopasnost' [Advantages of using wheat starch in the baking industry]

- and its food safety] // Pishcha. Ekologiya. Kachestvo [Food. Ecology. Quality]: Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference. – Barnaul, 2019. – P. 96-100. [in Russian].
12. Kulushtaeva B.M., Nurymkhan G.N. Izuchenie amarantovoy muki dlya polucheniya khlebobulochnykh izdeliy [Study of amaranth flour for the production of bakery products] // Nauka i proizvodstvo: sostoyanie i perspektivy [Science and Production: Current State and Prospects]: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. – Kemerovo, 2017. – P. 40-44. [in Russian].
 13. Esengazieva A.N., Uzakov Ya.M. Proteolittik fermentti paidalanıp shuzhyk onimderinin ondiristik uderisin ontailandyru [Optimization of the sausage production process using a proteolytic enzyme] // Shakarim University Bulletin. Technical Sciences. – 2025. – No. 2(18). – P. 186-193. [in Kazakh].
 14. Uzakov Ya.M., Esengazieva A.N., Tlevlesova D.A., Kaimbaeva L.A., Kaldarbekova M.A. Razrabotka matematicheskoy modeli prognozirovaniya kachestva polukopchenykh kolbas iz govyadiny vtorogo sorta [Development of a mathematical model for predicting the quality of semi-smoked sausages made from second-grade beef] // Bulletin of Almaty Technological University. – 2023. – Vol. 1. – No. 3. – P. 109-117. DOI: 10.48184/2304-568X-2023-3-109-117. [in Russian].
 15. Capelli A., Oliva N., Cini E. A systematic review of gluten-free dough and bread: Dough rheology, bread characteristics, and improvement strategies // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10. – Art. 6559. DOI: 10.3390/app10186559.
 16. Horstmann S., Lynch K.M., Arendt E.K. Starch characteristics linked to gluten-free products // Foods. – 2017. – Vol. 6. – Art. 29.
 17. Palabiyik I., Yildiz O., Toker O.S., Cavus M., Ceylan M.M., Yurt B. Investigating the addition of enzymes in gluten-free flours—The effect on pasting and textural properties // LWT – Food Science and Technology. – 2016. – Vol. 69. – P. 633-641.
 18. Motahar S.F.S., Ariaeenejad S., Salami M., Emam-Djomeh Z., Mamaghani A.S.A. Improving the quality of gluten-free bread by a novel acidic thermostable α -amylase from metagenomics data // Food Chemistry. – 2021. – Vol. 352. – Art. 129307.
 19. Haghghat-Kharazi S., Kasaai M.R., Milani J.M., Khajeh K. Microencapsulation of α -amylase in beeswax and its application in gluten-free bread as an anti-staling agent // Food Science and Nutrition. – 2020. – Vol. 8. – P. 5888-5897.
 20. Zhao F., Li Y., Li C., Ban X., Cheng L., Hong Y., Gu Z., Li Z. Co-supported hydrocolloids improve the structure and texture quality of gluten-free bread // LWT. – 2021. – Vol. 152. – Art. 112248. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112248.
 21. Skendi A., Papageorgiou M., Varzakas T. High-Protein Gluten Substitutes in Gluten-Free Bread // Foods. – 2021. – Vol. 10. – No. 8. – Art. 1997. DOI: 10.3390/foods10091997.