

ФЕРМЕНТТЕЛГЕН БАЛЫҚ ӨНІМДЕРІ САПАСЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ- ФУНКЦИОНАЛДЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІН КЕШЕНДІ ТАЛДАУ

¹Г.Т. ЮСУПОВА* , ¹Ж.К. ШАДЬЯРОВА , ¹Д.Б. КУРМАНГАЛИЕВА ,
¹А.А. ДАРИБАЕВА , ²Н.Т. ЗАМЗАМОВА 

(¹ С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,
Қазақстан Республикасы, 010011, Астана қ., Жеңіс даңғылы, 62

²Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті,
Қазақстан Республикасы, 060000, Атырау қ., Студенттер даңғылы, 1)
Автор-корреспонденттің электрондық поштасы: gaukhar.nitra@gmail.com*

Жұмыста тилапия (Tilapia nilotica) негізіндегі ферменттелген балық өнімдерінің құрылымдық-функционалдық көрсеткіштеріне кешенді бағалау жүргізілді. Зерттеудің ғылыми жаңалығы ферментация деңгейінің өнімнің текстуралық қасиеттеріне, ылғалды ұстап тұру қабілетіне және микроструктуралық ұйымдасуына әсерін кешенді бағалауда болып табылады. Зерттеу нысаны ретінде бақылау үлгісі және ферментация деңгейі 30% және 40% болатын үлгілер алынды. Талдау барысында текстуралық профиль (TPA), FTIR-спектроскопия, сканерлеуші электрондық микроскопия (SEM), ылғалды ұстап тұру қабілеті (WHC) мен pH көрсеткіштерін анықтау әдістері қолданылды. Нәтижелерді статистикалық өңдеу ANOVA әдісімен жүргізілді ($p < 0,05$). Зерттеу нәтижелері ферментация деңгейінің артуы қаттылықтың 27-34%-ға төмендеуіне және ылғалды ұстап тұру қабілетінің 12-18%-ға артуына ықпал ететінін көрсетті. FTIR талдауы ферменттелген үлгілерде ақуыздардың екінші реттік құрылымында өзгерістер байқалғанын көрсетті, ал SEM нәтижелері микроструктуралық ұйымдасудың өзгеру тенденцияларын көрсетті. Құрылымдық және функционалдық көрсеткіштердің өзара байланысы анықталды. Ең қолайлы нәтижелер ферментация деңгейі 30% болған үлгілерде байқалды. Алынған нәтижелер ферментацияның тилапия негізіндегі балық өнімдерінің құрылымдық-функционалдық қасиеттерін реттеудің перспективалы технологиялық тәсілі екенін көрсетеді.

Негізгі сөздер: ферменттелген балық өнімдері, құрылымдық-функционалдық қасиеттер, ақуыздық матрица, протеолиз, текстуралық талдау, ылғалды ұстап тұру қабілеті, FTIR, SEM.

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ФЕРМЕНТИРОВАННЫХ РЫБНЫХ ПРОДУКТОВ

¹Г.Т. ЮСУПОВА*, ¹Ж.К. ШАДЬЯРОВА, ¹Д.Б. КУРМАНГАЛИЕВА,
¹А.А. ДАРИБАЕВА, ²Н.Т. ЗАМЗАМОВА

(¹ Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина,
Республика Казахстан, 010011, г. Астана, проспект Жеңіс, 62

² Атырауский университет имени Х. Досмұхамедова,
Республика Казахстан, 060000, г. Атырау, проспект Студентов, 1)
Электронная почта автор-корреспондента: gaukhar.nitra@gmail.com*

В работе проведена комплексная оценка структурно-функциональных показателей ферментированных рыбных продуктов на основе тилапии (Tilapia nilotica). Научная новизна исследования заключается в комплексной оценке влияния уровня ферментации на текстурные свойства продукта, влагоудерживающую способность и микроструктурную организацию. Объектами исследования служили контрольный образец, а также образцы с уровнем ферментации 30% и 40%. В ходе исследования использованы методы анализа текстурного профиля (TPA), FTIR-спектроскопии, сканирующей электронной микроскопии (SEM), определения влагоудерживающей способности (WHC) и показателя pH. Статистическая обработка результатов проводилась методом ANOVA ($p < 0,05$). Результаты исследования показали, что повышение уровня ферментации способствует снижению твердости на 27-34% и увеличению влагоудерживающей способности на 12-18%. FTIR-анализ выявил изменения вторичной

структуры белков в ферментированных образцах, а результаты SEM показали тенденции изменения микроструктурной организации. Установлена взаимосвязь между структурными и функциональными показателями продукта. Наиболее благоприятные результаты были получены для образцов с уровнем ферментации 30%. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности ферментации как технологического подхода к регулированию структурно-функциональных свойств рыбных продуктов на основе тилапии.

Ключевые слова: ферментированные рыбные продукты, структурно-функциональные свойства, белковая матрица, протеолиз, текстурный анализ, влагоудерживающая способность, FTIR, SEM.

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF STRUCTURAL AND FUNCTIONAL QUALITY INDICATORS OF FERMENTED FISH PRODUCTS

¹G. YUSSUPOVA*, ¹ZH. SHADYAROVA, ¹D. KURMANGALIYEVA,
¹A. DARIBAYEVA, ²N. ZAMZAMOVA

¹ S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Republic of Kazakhstan,
010011, Astana, Zhenis Avenue, 62

² Atyrau University named after H. Dosmukhamedov, Republic of Kazakhstan,
060000, Atyrau, Students Avenue, 1)

Corresponding author's e-mail: gaukhar.nitra@gmail.com*

*A comprehensive evaluation of the structural and functional properties of fermented fish products based on tilapia (*Tilapia nilotica*) was carried out in this study. The scientific novelty of the research lies in the integrated assessment of the effect of fermentation level on textural properties, water-holding capacity, and microstructural organization of the product. The study included a control sample and samples with fermentation levels of 30% and 40%. Texture Profile Analysis (TPA), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Scanning Electron Microscopy (SEM), water-holding capacity (WHC), and pH determination methods were applied. Statistical analysis was performed using ANOVA ($p < 0.05$). The results demonstrated that increasing the fermentation level reduced hardness by 27-34% and increased water-holding capacity by 12-18%. FTIR analysis revealed changes in the secondary structure of proteins in fermented samples, while SEM results indicated trends in microstructural reorganization. A relationship between the structural and functional characteristics of the products was established. The most favorable results were obtained for samples with a 30% fermentation level. The findings indicate that fermentation is a promising technological approach for regulating the structural and functional properties of tilapia-based fish products.*

Keywords: fermented fish products, structural-functional properties, protein matrix, proteolysis, texture profile analysis, water-holding capacity, FTIR, SEM.

Kіpіcne

БҰҰ Азық-түлік және ауыл шаруашылығы ұйымының (FAO) мәліметтері бойынша әлемдік балық және акваөнімдер өндірісі соңғы жылдары тұрақты өсіп, 2022 жылы 223 млн тоннадан асты. Оның ішінде аквакультура үлесі алғаш рет табиғи аулау көлемінен жоғары көрсеткішке жетті [1, 2]. Тилапия (*Tilapia nilotica*) әлемдегі негізгі аквакультуралық балық түрлерінің бірі болып табылады және жоғары ақуыздық құндылығына, технологиялық қолайлылығына және кең қолжетімділігіне байланысты қайта өңдеу өнеркәсібінде кеңінен қолданылады [3].

Ферменттелген балық өнімдері жоғары

тағамдық құндылығы, ұзақ сақтау тұрақтылығы және функционалдық қасиеттеріне байланысты соңғы жылдары ерекше ғылыми қызығушылық тудырып отыр [4, 5]. Әдебиеттерді талдау ферменттелген балық өнімдерінің микробиологиялық қауіпсіздігі, тағамдық құндылығы және сақтау тұрақтылығы бойынша көптеген зерттеулер жүргізілгенін көрсетті [6-10]. Алайда ферментация барысында ақуыздық матрицаның қайта ұйымдасуы, оның текстуралық қасиеттерге және ылғалды ұстап тұру қабілетіне әсері жеткілікті деңгейде зерттелмеген. Әсіресе тилапия негізіндегі ферменттелген өнімдерде құрылымдық, функционалдық және микроструктуралық көрсеткіштердің

өзара байланысын кешенді бағалау бойынша мәліметтер шектеулі [11-13].

Осыған байланысты жұмыстың мақсаты тилапия негізіндегі ферменттелген балық өнімдеріндегі ақуыздық матрицаның өзгерістері мен олардың текстуралық қасиеттерге және ылғалды ұстап тұру қабілетіне әсерін кешенді зерттеу болып табылады.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы тилапия негізіндегі ферменттелген балық өнімдерінде алғаш рет ферментация деңгейінің ақуыздық матрицаның құрылымдық ұйымдасуына, текстуралық қасиеттеріне және ылғалды ұстап тұру қабілетіне кешенді әсері анықталуында. Ферментация нәтижесінде ақуыздық матрицаның қайта ұйымдасуы қаттылықтың төмендеуімен және ылғалды ұстап тұру қабілетінің артуымен қатар жүретіні көрсетілді. Сонымен қатар ферментация деңгейі 30% болған жағдайда өнімнің құрылымдық тұрақтылығы, текстуралық көрсеткіштері және органолептикалық қасиеттері арасындағы оңтайлы тепе-теңдік қалыптасатыны анықталды [14-17].

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеу барысында ферменттелген балық өнімдерінің құрылымдық-функционалдық сипаттамаларын бағалаудың кешенді тәсілі жүзеге асырылды, ол физика-химиялық, реологиялық және микроструктуралық талдау әдістерінің үйлесіміне негізделді. Зерттеу нысаны ретінде тилапияның (*Tilapia nilotica*) бұлшықет тіні негізінде дайындалған ферменттелген балық өнімдері алынды. Бастапқы шикізат ретінде «Центр аквакультуры Алматы» ЖК-нен алынған, қолданыстағы нормативтік құжаттар талаптарына сәйкес келетін және ветеринариялық-санитариялық бақылаудан өткен салқындатылған тилапия филесі пайдаланылды. Зертханалық зерттеулер С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің Органикалық агротехнологиялар инжинирингтік орталығының зертханасында жүргізілді.

Ферменттелген жүйені қалыптастыру сүтқышқылды микроорганизмдерді қолдану арқылы жүзеге асырылды, бұл биохимиялық процестердің, соның ішінде протеолиз бен ақуыздардың құрылымдық модификациясының бағытты жүруін қамтамасыз етті. Ферментация процесінде *Lactobacillus plantarum* және *Streptococcus thermophilus* негізіндегі стартерлік культура қолданылды. Культура өнім массасына тікелей инокуляциялау әдісімен енгізіліп, бастапқы концентрациясы 10^7 КОЕ/г деңгейінде болды.

Эксперименттік модель үш түрлі үлгіден тұрды: бақылау үлгісі (ферментациясыз) және жалпы массаға қатысты 30% және 40% мөлшерде ферменттелген негіз енгізілген үлгілер. Ферментация деңгейі деп дайын өнім рецептурасындағы ферменттелген балық негізінің үлесі түсінілді. Бақылау үлгісінде ферменттелген компонент қолданылмады, ал тәжірибелік үлгілерде ферменттелген негіздің мөлшері өнімнің жалпы массасының тиісінше 30% және 40%-ын құрады.

Үлгілерді дайындау шикізатты біртекті күйге дейін ұсақтауды, кейін гомогенизациялауды және 30-35 °C температурада 24 сағат бойы тұрақты рН мәніне жеткенге дейін ферментациялауды қамтыды. рН мәні 20 ± 2 °C температурада зертханалық рН-метр көмегімен потенциометриялық әдіспен анықталды. Ылғалды ұстап тұру қабілеті (WHC) 3000 айн/мин жылдамдықта 10 минут бойы центрифугалау әдісімен анықталып, ұсталған ылғалдың бастапқы массаға қатысты пайыздық мөлшері есептелді.

Реологиялық сипаттамалар текстуралық профиль (TPA) әдісі арқылы TA.XTplus текстуралық анализаторы (Stable Micro Systems, UK) көмегімен зерттелді. Негізгі көрсеткіштер ретінде қаттылық (N), когезивтілік және серпімділік анықталды. Өлшеулер бірдей геометриялық өлшемдегі үлгілерге екі рет сығу (қос компрессия) арқылы жүргізілді, бұл нәтижелердің салыстырмалылығын қамтамасыз етті. FTIR-спектроскопия PerkinElmer Spectrum Two инфрақызыл спектрометрінде жүргізілді.

Үлгілер алдын ала мұздатылып кептіріліп, ұсақталған күйде талданды. Спектрлер $4000-600$ см⁻¹ диапазонында тіркелді. Әр үлгі үшін 32 сканерлеу орындалып, спектрлердің рұқсат ету қабілеті 4 см⁻¹ құрады. Ақуыздардың екінші реттік құрылымындағы өзгерістер Amide I ($1700-1600$ см⁻¹) және Amide II ($1600-1500$ см⁻¹) жолақтарының орналасуы мен қарқындылығы бойынша интерпретацияланды.

Үлгілердің микроструктурасы Hitachi TM4000 (Japan) сканерлеуші электрондық микроскопында (SEM) зерттелді. Үлгілер алдын ала мұздатылып кептіріліп, микроскопиялық талдауға дайындалды. Бақылау $500\times$ және $1000\times$ үлкейтулерде жүргізілді. Алынған микрофотосуреттер ақуыздық матрицаның құрылымдық ұйымдасуын, кеуектілігін және біртектілік дәрежесін бағалау үшін пайдаланылды.

Органолептикалық бағалау сыртқы түрі,

текстурасы, иісі және дәмі бойынша 9 балдық шкала арқылы тағам технологиясы саласындағы 12 сарапшыдан тұратын комиссияның қатысуымен жүргізілді. Барлық тәжірибелер кемінде үш мәрте қайталанып жүргізілді. Нәтижелер орташа мән (M) және стандарттық ауытқу ($\pm SD$) түрінде ұсынылды. Мәліметтерді статистикалық өңдеу дисперсиялық талдау (ANOVA) әдісімен жүргізіліп, айырмашылықтардың маңыздылығы $p < 0,05$ деңгейінде бағаланды.

Жүргізілген зерттеу нәтижелері ферментация процесінің балық өнімдерінің құрылымдық-функционалдық сипаттамаларына ке-

шенді және бағытталған әсер ететінін көрсетеді. Бұл әсер физика-химиялық және реологиялық қасиеттері өзгерген жаңа ақуыздық жүйенің қалыптасуымен сипатталады. Алынған мәліметтер молекулалық деңгейде жүретін өзгерістердің өнімнің макроскопиялық қасиеттерінде, атап айтқанда текстурасында, ылғалды ұстап тұру қабілетінде және микроструктуралық ұйымдасуында көрініс табатынын дәлелдейді.

Үлгілердің реологиялық сипаттамалары текстуралық профиль (TPA) әдісі арқылы анықталып, олардың нәтижелері 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1. Үлгілердің текстуралық көрсеткіштері

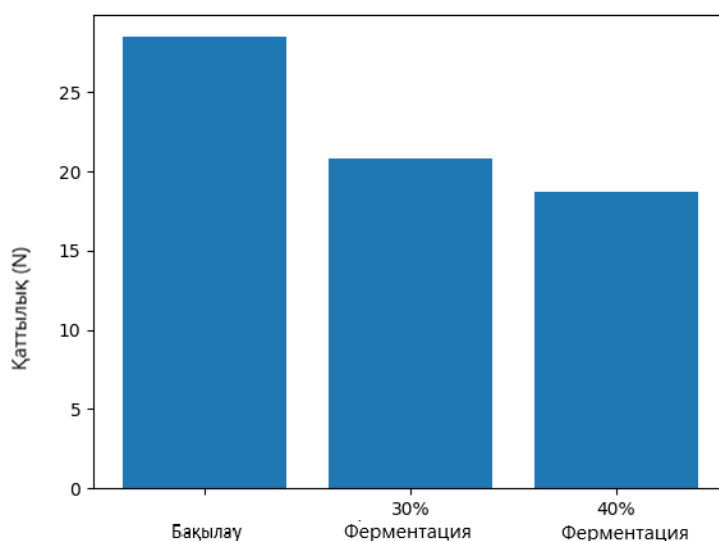
Көрсеткіш	Бақылау	30% ферментация	40% ферментация
Қаттылық (N)	28.5 $\pm$ 1.2 ^a	20.8 $\pm$ 1.0 ^b	18.7 $\pm$ 0.9 ^c
Когезивтілік	0.42	0.55	0.61
Серпімділік	0.63	0.72	0.78

Ескерту: әртүрлі әріптермен белгіленген мәндер арасында статистикалық тұрғыдан мәнді айырмашылық бар ($p < 0,05$).

Алынған мәліметтерді талдау ферментация деңгейінің артуы үлгілердің қаттылығының статистикалық тұрғыдан мәнді төмендеуіне (27-34%, $p < 0,05$) алып келетінін және сонымен қатар когезивтілік пен серпімділік көрсеткіштерінің артуымен қатар жүретінін көрсетеді. Бұл үрдіс миофибриллярлық ақуыздардың терең модификациясын сипаттайды және олардың протеолитикалық ыдырауы мен кейінгі қайта ұйымдасуымен байланысты. Қаттылықтың төмендеуі молекулааралық өзара әрекеттесулердің әлсіреуіне байланысты болса,

когезивтіліктің артуы құрылымның неғұрлым интеграцияланған күйге өткенін көрсетеді.

Серпімділіктің жоғарылауы деформациядан кейін пішінін қалпына келтіруге қабілетті кеңістіктік гельдік тордың қалыптасуын білдіреді. Осылайша, ферментация борпылдақ және механикалық тұрақсыз құрылымнан неғұрлым пластикалық әрі құрылымдық ұйымдасқан жүйеге өтуге ықпал етеді, бұл өнімнің тұтынушылық қасиеттерінің қалыптасуындағы негізгі факторлардың бірі болып табылады.



Сурет 1. Ферментация деңгейіне байланысты үлгілердің қаттылығының өзгеру гистограммасы

Үлгілердің қаттылығының өзгеру динамикасы (1-сурет) ферментация деңгейінің артуына қарай бұл көрсеткіштің айқын төмендеу тенденциясын көрсетеді. Бұл құбылыс ақуыздардың ферментативті гидролизімен байланысты, нәтижесінде молекулааралық өзара

әрекеттесулер әлсіреп, құрылымның тығыздығы төмендейді.

Ылғалды ұстап тұру қабілетін анықтау нәтижелері центрифугалау әдісі арқылы алынған және 2-кестеде көрсетілген.

Кесте 2. Үлгілердің ылғалды ұстап тұру қабілеті

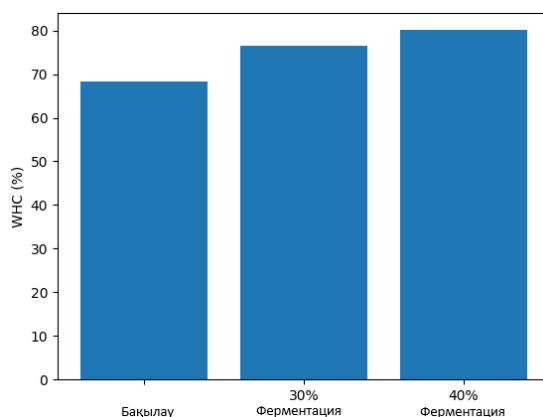
Үлгі	WHC (%)
Бақылау	68.2 ±1.5
30% ферментация	76.4 ±1.2
40% ферментация	80.1 ±1.3

Ескерту: нәтижелер орташа мән (M) және стандарттық ауытқу (±SD) түрінде ұсынылған. Айырмашылықтардың статистикалық маңыздылығы ANOVA әдісімен $p < 0,05$ деңгейінде бағаланды.

Алынған нәтижелер ферментация деңгейінің артуына байланысты ылғалды ұстап тұру қабілетінің статистикалық тұрғыдан мәнді (12-18%, $p < 0,05$) артатынын көрсетеді. Бұл әсер ақуыздардың конформациясының өзгеруімен және гидрофильді топтардың қолжетімділігінің артуымен түсіндіріледі.

Ферментативті гидролиз полипептидтік тізбектердің ішінара ашылуына әкеледі, бұл су молекулаларымен өзара әрекеттесу орталық-

тарының санын арттырады. Сонымен қатар кеңістіктік ақуыздық тордың қалыптасуы капиллярлық және адсорбциялық механизмдер арқылы ылғалды ұстап тұруды қамтамасыз етеді, бұл өнімнің шырындылығын арттырып, масса шығынын төмендетеді. Алынған нәтижелер ферменттелген балық өнімдеріндегі ақуыздық жүйелердің құрылымдық өзгерістері туралы әдеби деректермен сәйкес келеді [18, 19].



Сурет 2. Үлгілердің ылғалды ұстап тұру қабілетінің (WHC) өзгеру гистограммасы

2-суретте келтірілген мәліметтер ферментация деңгейінің артуымен ылғалды ұстап тұру қабілетінің тұрақты түрде жоғарылайтынын көрсетеді. Бұл өз кезегінде неғұрлым гидратталған әрі құрылымдық тұрғыдан ұй-

ымдасқан ақуыздық жүйенің қалыптасуын дәлелдейді.

Органолептикалық бағалау нәтижелері 3-кестеде келтірілген.

Кесте 3. Үлгілердің органолептикалық бағалануы (9 балдық шкала)

Көрсеткіш	Бақылау	30% ферментация	40% ферментация
Сыртқы түрі	7.2 ±0.3	8.5 ±0.2	7.8 ±0.3
Консистенциясы	6.8 ±0.4	8.7 ±0.2	7.9 ±0.3
Иісі	7.0 ±0.3	8.3 ±0.2	7.6 ±0.3
Дәмі	6.9 ±0.4	8.6 ±0.2	7.4 ±0.3

Ескерту: нәтижелер орташа мән (M) және стандарттық ауытқу (±SD) түрінде ұсынылған. Айырмашылықтардың статистикалық маңыздылығы ANOVA әдісімен $p < 0,05$ деңгейінде бағаланды.

Органолептикалық бағалау тағам технологиясы және тағам өнімдерінің сапасын бақылау саласындағы тәжірибесі бар 12 сарапшыдан тұратын комиссияның қатысуымен жүргізілді. Дегустация 20 ± 2 °C температурада, бірдей жарықтандыру және сыртқы иіс көздері жоқ жағдайда өткізілді. Үлгілер сарапшыларға кездейсоқ кодталған түрде ұсынылып, сыртқы түрі, консистенциясы, иісі және дәмі бойынша 9 балдық шкала негізінде бағаланды.

Талдау көрсеткендей, ферментация деңгейі 30% болатын үлгілер барлық органолептикалық көрсеткіштер бойынша ең жоғары бағаларға ие болды. Бұл өнімнің дәмі мен иісінің үйлесімді қалыптасқанын және текстурасының оңтайлы екенін көрсетеді. Ферментация деңгейін 40%-ға дейін арттырғанда қышқыл дәмнің күшеюі байқалады, бұл өнімнің тұтынушылық қасиеттерінің төмендеуіне әкелуі мүмкін. Органолептикалық нәтижелер текстуралық талдау және ылғалды ұстап тұру қабілеті көрсеткіштерімен үйлеседі және ферментацияның оңтайлы деңгейі 30% екенін растайды.

Текстуралық талдау мен ылғалды ұстап тұру қабілеті бойынша алынған нәтижелерді молекулалық деңгейде түсіндіру мақсатында FTIR-спектроскопия қолданылды. FTIR талдауы ферменттелген үлгілерде Amide I және Amide II аймақтарында спектрлік өзгерістердің байқалғанын көрсетті. Әсіресе 30% және 40% ферментацияланған үлгілерде Amide I аймағындағы жолақтардың қарқындылығы бақылау үлгісімен салыстырғанда жоғары болды, бұл ақуыз құрылымының қайта ұйымдасу үрдістерімен байланысты болуы мүмкін. Сонымен қатар ферменттелген үлгілерде ақуыздардың екінші реттік құрылымының өзгеру белгілері байқалды. Бұл өзгерістер сүтқышқылды микроорганизмдердің белсенділігімен және ақуыздардың ішінара гидролизімен байланысты болуы мүмкін [19, 20]. Алайда алынған нәтижелерді нақты құрылымдық өзгерістердің тікелей дәлелі ретінде емес, ақуыздық матрицаның қайта ұйымдасу тенденциясының көрсеткіші ретінде қарастырған жөн.

SEM талдауы нәтижесінде бақылау және ферменттелген үлгілер арасында микроструктуралық айырмашылықтардың бар екені байқалды. Бақылау үлгісі салыстырмалы түрде кеуекті және құрылымдық ұйымдасуы төмен жүйемен сипатталды. Ал ферменттелген үлгілерде ақуыздық матрицаның жинақырақ орналасу тенденциясы байқалды. Ең біртекті

құрылым 30% ферментацияланған үлгіде анықталды. Бұл нәтиже қаттылық көрсеткіштерінің төмендеуі және ылғалды ұстап тұру қабілетінің артуымен сәйкес келді. Сонымен қатар SEM нәтижелері ақуыздық жүйенің құрылымдық өзгерістерге ұшырағанын көрсеткенімен, алынған деректерді толық морфологиялық сипаттама ретінде емес, микроструктуралық ұйымдасу тенденциясының көрсеткіші ретінде қарастырған жөн, бұл басқа зерттеулердің нәтижелерімен де сәйкес келеді [19].

pH көрсеткішінің өзгеруі органикалық қышқылдардың жиналуын көрсетеді, бұл өз кезегінде ақуыздардың коагуляциясын күшейтіп, өнімнің тұрақты құрылымының қалыптасуына ықпал етеді. Алынған нәтижелерді кешенді талдау ферментацияның ақуыздық жүйеге көпдеңгейлі әсер ететінін көрсетті. Құрылымдық, реологиялық және функционалдық сипаттамалар арасында өзара байланыс анықталып, интеграцияланған жүйенің қалыптасуы дәлелденді. Зерттеу нәтижелері ферментация деңгейі 30% болғанда өнімнің құрылымдық тұрақтылығы мен тұтынушылық қасиеттері арасындағы оңтайлы тепе-теңдікке қол жеткізілетінін көрсетті.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу тилапия негізіндегі балық өнімдерінің құрылымдық-функционалдық қасиеттеріне ферментация процесінің кешенді және бағытталған әсер ететінін анықтауға мүмкіндік берді. Ферментация нәтижесінде қаттылықтың статистикалық тұрғыдан мәнді төмендеуі және ылғалды ұстап тұру қабілетінің артуы байқалды, бұл ақуыздық матрицаның құрылымдық өзгерістерге ұшырағанын және оның гидратациялық қасиеттерінің өзгеруімен байланысты болуы мүмкін.

FTIR-спектроскопия және микроструктуралық талдау нәтижелері ферментация барысында ақуыздардың екінші реттік құрылымы мен микроструктуралық ұйымдасуында өзгерістер байқалатынын көрсетті. Бұл өзгерістер текстуралық көрсеткіштер мен ылғалды ұстап тұру қабілетінің өзгеруімен үйлеседі.

Осы зерттеу жағдайында ферментация тилапия негізіндегі балық өнімдерінің құрылымдық-функционалдық қасиеттерін реттеудің тиімді технологиялық тәсілі болып табылатыны анықталды. Ең қолайлы нәтижелер ферментация деңгейі 30% болған үлгілерде алынды. Бұл үлгілерде құрылымдық тұрақтылық, ылғалды ұстап тұру қабілеті және органолептикалық көрсеткіштердің оңтайлы үйлесімі байқалды.

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022: Towards Blue Transformation. – Rome: FAO, 2022. – 266 p. DOI: <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
2. FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024: Blue Transformation in Action. – Rome: FAO, 2024. – 264 p. DOI: <https://doi.org/10.4060/cd0683en>
3. S. Damodaran, K. Parkin Fennema's Food Chemistry. – 5th ed. – CRC Press, 2017. – 1123 p.
4. A.E. Ghaly, D. Dave, S. Budge, M.S. Brooks Fish spoilage mechanisms and preservation techniques: review // American Journal of Applied Sciences. – 2010. – Vol. 7, No. 7. – P. 859-877. DOI: <https://doi.org/10.3844/a.jassp.2010.859.877>
5. J. Ahmed, P. Ptaszek Food Rheology and Texture. – Wiley-Blackwell, 2016. – 408 p.
6. S.S. Nielsen Food Analysis. – 5th ed. – Springer, 2017. – 640 p.
7. M.L. Colgrave Proteomics in Food Science: From Farm to Fork. – Academic Press, 2017. – 300 p.
8. H. Li, Y. Wang, Y. Zhang, et al. Fermented Fish Products: Balancing Tradition and Innovation Through Microbial Diversity, Safety, and Nutritional Enhancement // Foods. – 2024. – Vol. 13. – Article 2904. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13162565>
9. S.X.Y. Chan, Y.Y. Tan, K.F. Chai, A Comprehensive Review with Future Insights on the Nutritional, Microbial and Sensory Characteristics of Fermented Fish Products // Foods. – 2023. – Vol. 12(3). – 558. <https://doi.org/10.3390/foods12030558>
10. X. Chen, M. Yuan, Y. Wang, Y. Zhou, X. Sun Influence of fermentation with different lactic acid bacteria and in vitro digestion on the change of phenolic compounds in fermented kiwifruit pulps // International Journal of Food Science & Technology. – 2022. – Vol. 57. – P. 2670-2679. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.15786>
11. B. Abraha, H. Admassu, A. Mahmud и др. Effect of processing methods on nutritional and physico-chemical composition of fish: a review // MOJ Food Processing & Technology. – 2018. – Vol. 6, No. 4. – P. 376–382. DOI: <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2018.06.00191>
12. A. Issa-Zacharia, R. Msangi, G. Mboya Revisiting Chemical and Microbiological Quality and Safety of Fish and Fish Products // International Journal of Microbiology and Biotechnology. – 2025. – Vol. 10, No. 3. – P. 73-90. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.ijmb.20251003.12>
13. P. Visciano Environmental contaminants in fish products: food safety issues and remediation strategies // Foods. – 2024. – Vol. 13(21). – 3511. – P. 1-20. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13213511>
14. M. Yin, X. Wang New strategies to improve the quality and safety of seafoods and the efficient utilization of their by-products // Foods. – 2026. – Vol. 15(2). – 190. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods15020190>
15. European Parliament, Council of the European Union. Regulation (EC) No 178/2002 laying down the general principles and requirements of food law // Official Journal of the European Union. – 2002. – OJ L 31. – P. 1-24. – URL: <http://data.europa.eu/eli/reg/2002/178/oj>
16. European Parliament, Council of the European Union. Regulation (EC) No 852/2004 on the hygiene of foodstuffs // Official Journal of the European Union. – 2004. – OJ L 139. – P. 1-54. – URL: <http://data.europa.eu/eli/reg/2004/852/oj>
17. European Parliament, Council of the European Union. Regulation (EC) No 853/2004 laying down specific hygiene rules for food of animal origin // Official Journal of the European Union. – 2004. – OJ L 139. – P. 55-205. – URL: <http://data.europa.eu/eli/reg/2004/853/oj>
18. L. Belleggia, A. Osimani, L. Aquilanti, et al. Fermented Fish and Fermented Fish-Based Products: An Ever-Growing Field and Market. A Literature Review // Foods. – 2023. – Vol. 12. – Review article. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113112>
19. N. Yuliana, D. Koesoemawardani, Susilawaty, et al. Lactic Acid Bacteria During Fish Fermentation (Rusip) // MOJ Food Processing & Technology. – 2018. – Vol. 6(2). – P. 211-216. DOI: <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2018.06.00167>
20. H.N. Mohamed, S. Mustafa Fermented Fish Products: A Review on the Manufacturing Process, Technological Aspect, Sensory, Nutritional Qualities and Metabolite Profiles // International Journal of Synergy in Engineering and Technology. – 2021. – Vol. 2(1). – P. 16-35. <https://tatiuc.edu.my/ijset/index.php/ijset/article/view/94>