DEVELOPMENT OF SCIENCE

ISNN 3030-3907

2026 AUGUST

ISSUE - 8
VOLUME -1

DEVELOPMENT OF SCIENCE

D E V O S

РАЗВИТИЕ НАУКИ

ILM-FAN TARAQQIYOTI

Development of science

Scientific journal
Ilmiy jurnal
Научный журнал

AUGUST 2026
Issue - 8, VOLUME - 1

ISSN 3030 -3907

*The scientific journal **«Development of Science»** was registered by the State on April 15, 2024 with certificate number №256445.*

***«Ilm fan tarqqiyoti»** ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro'yxatidan o'tgan.*

*Научный журнал **«Развитие науки»** был зарегистрирован государством 15 апреля 2024 года под номером свидетельства № 256445.*

The proceedings will be provided to the authors in electronic form (PDF format). The authors bear full responsibility for the content of the articles included in the proceedings, the accuracy and reliability of the statistical data and regulatory documents cited therein, as well as for any opinions and judgments expressed in their articles. Articles that do not meet the established requirements will not be included in the proceedings. The Organizing Committee reserves the right to shorten the text of an article, make minor editorial corrections, and assign submissions to the appropriate sections.

To'plam elektron ko'rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To'plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma'lumotlar va me'yoriy hujjatlarning to'g'riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o'zlari mas'ul hisoblanadilar.Talablarga javob bermaydigan maqolalar to'plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo'mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

Сборник предоставляется авторам в электронном виде (в формате PDF). Авторы несут полную ответственность за содержание статей, включённых в сборник, достоверность приведённых в них статистических данных и нормативных документов, а также за изложенные мнения и суждения. Статьи, не соответствующие установленным требованиям, в сборник не включаются. Организационный комитет оставляет за собой право сокращать текст статьи, вносить отдельные редакционные исправления и распределять материалы по соответствующим секциям.

EDITOR-IN-CHIEF:
Temirov Alisher Hashim oglu - Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences, Associate Professor.
CHAIRMAN OF THE EDITORIAL BOARD:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich - Doctor of Technical Sciences, Professor
MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

Faheem Uddin
Professor,Iqra university, Pakistan
Siddikova Sadokat Gafforovna
DSc, Rector of Bukhara State Technical University, Uzbekistan
Dr. Amit Rawal
Professor, Department of Textile and Fibre Engineering Indian Institute of Technology Delhi, India
Alexander Vitalievich Dudan
Associate Professor, Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Republic of Belarus
Bozorov Gayrat Rashidovich
Professor Bukhara State Technical University, Uzbekistan
Vladimir Mikhailovich Kapustin
Professor,Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University),Russian Federation
Shaoliang Chen
Ph. D., Engineer,Cement Science and New Building Materials Research Institute, China
Tukhtayeva Zebo Sharifovna
Bukhara State Technical University, Professor.
Kodirov Abduakhad Abdurakhimovich
Karshi State University, Professor
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
General Scientific Secretary of the Karakalpakstan Branch of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Professor
Tursunov Kakhor Shonazarovich
Karshi State University, Professor
Sharipov Muzaffar Samandarovich
Bukhara State University, Professor.
Alikulov Rustam Valiyevich
Termez State University, Professor
Makhmudov Mukhtar Jamolovich
Bukhara State Technical University, Professor.
Oral Kurganbekovich Beyseynbayev
Professor,M. Auezov South Kazakhstan University,Republic of Kazakhstan
Tropov Khamza Tursunovich
Samarkand State University, Professor
Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Bukhara State Technical University, Professor.
Saidakhmedova Nodira Ilkhomovna
Tashkent State University of Economics, Professor

ORGANIZATIONAL STRUCTURE:

Safarov J.A.-*editor*
Panoyev N.Sh. -*editor*
Buranov N.G. -*assistant editor*
Shodiyev D.X.- *layout editor*
Izzatov D.X. - *layout editor*
Urinov J.B. - *layout editor*
Temirov A.T. - *graphic designer*
Temirov I.G. – *layout designer*

Changes to the composition of the Editorial Board, including the appointment of new members or the removal of existing members, shall be made by the Editor-in-Chief.

www.devos.uz

ISSN 3030-3907

UDK: 664.69:547.96:532.135

GLYUTEN VA O‘SIMLIK OQSILI KOMPOZITLARINING BO‘KISH XUSUSIYATLARI VA YUQORI HARORATLI SILJITISH TA’SIRIDA FIBRILLYAR STRUKTURA SHAKLLANISH QONUNIYATLARI

Sobuddinov Sohibjon Mahmudjonovich
Namangan davlat texnika universiteti Doktorant
Qanoatov Xayrullo Murodillayevich
Namangan davlat texnika universiteti texnika fanlari doktori, dotsent
Dadamirzayev Muzaffar Habibullayevich
Namangan davlat texnika universiteti texnika fanlari nomzodi, dotsent

Annotatsiya. Maqolada glyuten va o‘simlik oqsillari asosidagi kompozision tizimlarning bo‘kish xususiyatlari hamda yuqori haroratli siljitish ta’sirida fibrillyar struktura shakllanish qonuniyatlari tadqiq etilgan. Glyutenning uzluksiz oqsil fazasi sifatidagi roli, o‘simlik oqsillari bilan mexanik o‘zaro ta’siri va suvni yutish jarayonidagi strukturaviy o‘zgarishlar tahlil qilingan. Shuningdek, yuqori harorat va siljish ta’sirida oqsillarning denaturatsiyasi, agregatlanishi va qayta tashkillanishi natijasida anizotrop va fibrillyar struktura hosil bo‘lish mexanizmlari baholangan. Olingan natijalar glyuten–o‘simlik oqsili kompozisiyalarining bo‘kish darajasi, mexanik xususiyatlari va strukturalanish qobiliyati o‘rtasidagi o‘zaro bog‘liqlikni aniqlash hamda o‘simlik oqsillari asosida go‘sht o‘rnini bosuvchi mahsulotlar uchun maqbul teksturaviy xususiyatlarni shakllantirish imkonini beradi.

Kalit so‘zlar: Glyuten, soya oqsili izolyati, no‘xat oqsili izolyati, loviya oqsili izolyati, o‘simlik oqsillari, oqsil kompozitlari, bo‘kish koeffitsiyenti, mexanik o‘zaro ta’sir, termomexanik ishlov berish, yuqori haroratli siljitish, fibrillyar struktura, tolasimon tuzilma, uzluksiz glyuten tarmog‘i, strukturaviy anizotropiya, fibrillanish.

Аннотация. В статье исследованы закономерности набухания композиционных систем на основе глютена и растительных белков, а также формирования фибриллярной структуры под воздействием высокотемпературного сдвигового воздействия. Проанализированы роль глютена как непрерывной белковой фазы, его механическое взаимодействие с растительными белками и структурные изменения в процессе поглощения воды. Кроме того, оценены механизмы формирования анизотропной и фибриллярной структуры в результате денатурации, агрегации и структурной перестройки белков под воздействием высокой температуры и сдвиговых деформаций. Полученные результаты позволяют установить взаимосвязь между степенью набухания, механическими свойствами и способностью к структурообразованию

ISSN 3030-3907

глютен–растительных белковых композиций, а также создать оптимальные текстурные характеристики мясных аналогов на основе растительных белков.

Ключевые слова: Глютен, изолят соевого белка, изолят горохового белка, изолят фасолевого белка, растительные белки, белковые композиты, коэффициент набухания, механическое взаимодействие, термомеханическая обработка, высокотемпературный сдвиг, фибриллярная структура, волокнистая структура, непрерывная глютеновая сеть, структурная анизотропия, фибрилляция.

Abstract. This study investigates the swelling behavior of composite systems based on gluten and plant proteins, as well as the mechanisms underlying fibrillar structure formation under high-temperature shear treatment. The role of gluten as a continuous protein phase, its mechanical interactions with plant proteins, and structural changes during water absorption were analyzed. In addition, the mechanisms of anisotropic and fibrillar structure formation resulting from protein denaturation, aggregation, and structural rearrangement under high-temperature and shear deformation conditions were evaluated. The obtained results make it possible to establish the relationship between the degree of swelling, mechanical properties, and structuring ability of gluten–plant protein composites, as well as to develop optimal textural characteristics for meat analogues based on plant proteins.

Keywords: Gluten, soy protein isolate, pea protein isolate, bean protein isolate, plant proteins, protein composites, swelling coefficient, mechanical interaction, thermomechanical treatment, high-temperature shearing, fibrillar structure, fibrous structure, continuous gluten network, structural anisotropy, fibrillationg.

KIRISH.

So‘nggi yillarda o‘simlik oqsillari asosida go‘sht o‘rnini bosuvchi mahsulotlarni yaratishga bo‘lgan ilmiy va amaliy qiziqish sezilarli darajada ortib bormoqda. Bunday mahsulotlarning iste’mol xususiyatlarini belgilovchi asosiy ko‘rsatkichlardan biri go‘sht to‘qimasiga xos bo‘lgan yo‘nalgan va tolasimon strukturaning shakllanishidir. Yuqori namlikli ekstruziya va boshqa termomexanik strukturaviy ishlov berish usullari o‘simlik oqsillarini fibrillyar strukturaga aylantirishning istiqbolli texnologik yondashuvlari sifatida qaralmoqda [1]. Bunda oqsil tarkibi, komponentlarning o‘zaro ta’siri, namlik, harorat va siljitish sharoitlari hosil bo‘ladigan strukturaning morfologik hamda reologik xususiyatlarini belgilovchi muhim omillar hisoblanadi.

ISSN 3030-3907

O‘simlik oqsillari orasida soya, no‘xat va loviya oqsillari yuqori funksional xususiyatlari hamda oziq-ovqat mahsulotlarida qo‘llash imkoniyatlari bilan alohida ahamiyatga ega. Biroq ushbu oqsillarning mustaqil holda yetarlicha shakllanga tolasimon struktura hosil qilish qobiliyati ularning oqsil tarkibi, fazaviy holati va termomexanik ishlov sharoitlariga bog‘liq. Shu sababli turli o‘simlik oqsillarini strukturani shakllantiruvchi boshqa biopolimerlar, xususan, glyuten bilan kombinatsiyalash orqali kompozit tizimlarning strukturaviy xususiyatlarini boshqarish muhim ilmiy-amaliy yo‘nalishlardan biri hisoblanadi [2,3]. Zamonaviy tadqiqotlarda ham glyutenning o‘simlik oqsillari bilan kompozisiyalarda fibrillyar struktura va tekstura shakllanishiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi qayd etilgan.

Glyutenning strukturaviy xususiyatlari uning gidratatsiyalangan holatda uzluksiz polimer tarmog‘ini shakllantirish qobiliyati bilan bevosita bog‘liq. Bunday tarmoqning mavjudligi glyuten va glyuten bo‘lmagan oqsil fazalari o‘rtasida mexanik o‘zaro ta’sir yuzaga kelishiga, natijada kompozit tizimning deformatsiyalanishi va bo‘kish xususiyatlarining o‘zgarishiga olib kelishi mumkin [4]. Shu nuqtai nazardan, bo‘kish jarayonini o‘rganish kompozit gelning ichki strukturaviy tashkil topishi va uning komponentlari o‘rtasidagi mexanik bog‘liqlikni baholash uchun muhim vosita bo‘lib xizmat qiladi.

Mazkur masalaning yana bir muhim jihati shundaki, glyuten–o‘simlik oqsili tizimlarida bo‘kish xususiyatlari va siljitish ta’sirida hosil bo‘ladigan tolasimon struktura o‘rtasidagi o‘zaro bog‘liqlik hali to‘liq aniqlangan emas. Ayniqsa, glyutenning turli o‘simlik oqsillari bilan mexanik o‘zaro ta’siri oqsil manbasiga bog‘liq holda qanday o‘zgarishi, glyuten konsentratsiyasining bo‘kish va fibrillanish jarayonlariga ta’siri hamda tolasimon struktura hosil bo‘lishi uchun qanday strukturaviy shartlar zarurligi alohida ilmiy qiziqish uyg‘otadi [5]. Hozirgi tadqiqotlar ham yuqori harorat, bosim va siljitish ta’sirida oqsil komponentlarining qayta tashkil topishi natijasida murakkab molekulyar va strukturaviy o‘zgarishlar yuz berishini ko‘rsatmoqda, biroq fibrillyar strukturaning shakllanish mexanizmi barcha tizimlar uchun bir xil darajada tushuntirilgan emas.

Shu munosabat bilan, ushbu tadqiqotning maqsadi glyutenning soya oqsili izolyati (SOI), no‘xat oqsili izolyati (NOI) va loviya oqsili izolyati (LOI) bilan hosil qilgan kompozisiyalarining bo‘kish xususiyatlarini o‘rganish, glyuten va glyuten bo‘lmagan oqsil fazalari o‘rtasidagi mexanik o‘zaro ta’sir qonuniyatlarini aniqlash hamda yuqori haroratli siljitish ta’sirida tolasimon (fibrillyar) struktura shakllanishining asosiy strukturaviy va texnologik omillarini baholashdan iborat Glyuten saqlovchi aralashmalar yuqori haroratli siljitish qurilmasida termomexanik ishlov berilgandan so‘ng ularning bo‘kish xususiyatlari ham o‘rganildi. Mazkur tadqiqotning asosiy maqsadi siljitish ta’sirida shakllangan struktura bilan materialning bo‘kish xususiyatlari o‘rtasidagi bog‘liqlikni aniqlash

ISSN 3030-3907

hamda termomexanik ishlov berish sharoitlarining bo‘kish jarayoniga ta’sirini baholashdan iborat bo‘ldi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatdiki, siljitish ta’sirida termomexanik ishlov berilgan bir fazali SOI va NOI gellarining absolyut bo‘kish koeffitsiyenti ishlov berilmagan namunalarga nisbatan yuqoriroq qiymatlarni namoyon etdi. Bunga qarama-qarshi ravishda, LOI gellarida siljitish ta’siridan keyin absolyut bo‘kish koeffitsiyentining pasayishi kuzatildi. Biroq, ishlov berilgan va ishlov berilmagan namunalar o‘rtasidagi absolyut bo‘kish koeffitsiyenti farqi umumiy holda katta bo‘lmaganini ta’kidlash lozim.

Siljitish ta’sirida ishlov berilgan SOI va NOI gellarining nisbiy bo‘kish koeffitsiyenti glyuten miqdorining ortishi bilan izchil ravishda kamayib bordi. Mazkur tendensiya siljitish ta’sirisiz tayyorlangan namunalarda kuzatilgan natijalar bilan ham mos keladi. Ushbu o‘xshashlik siljitish ta’sirida yuzaga kelgan strukturaviy o‘zgarishlarga qaramay, glyutenning SOI va NOI oqsil fazalarining bo‘kish jarayoniga ko‘rsatadigan ta’siri saqlanib qolishini ko‘rsatadi.

Bo‘kish koeffitsiyentining pasayish darajasi nisbatan kamroq bo‘lganiga qaramay, olingan natijalar glyutenning SOI va NOI oqsil fazalariga ko‘rsatadigan mexanik ta’siri o‘xshash xarakterga ega ekanligini ko‘rsatadi. Siljitish ta’sirida termomexanik ishlov berilgan namunalarda glyuten ta’sirining nisbatan sustroq namoyon bo‘lishi glyuten fazasida anizotrop strukturaning shakllanishi bilan izohlanishi mumkin [6]. Mazkur anizotrop struktura glyuten va glyuten bo‘lmagan oqsil fazalari o‘rtasidagi mexanik o‘zaro ta’sir xarakterini o‘zgartirishi hamda natijada glyuten bo‘lmagan oqsil fazasining yo‘nalishga bog‘liq, ya’ni anizotrop bo‘kish xususiyatini namoyon etishiga olib kelishi mumkin. Biroq, mazkur tadqiqot doirasida anizotrop bo‘kishning bevosita mavjudligi eksperimental jihatdan aniqlanmadi. Shu sababli, ushbu izoh ehtimoliy mexanizm sifatida qaralishi lozim. Kuzatilgan farqlarning yana bir ehtimoliy sababi ishlov berish haroratlaridagi tafovut bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Biroq, bu omilning bo‘kish jarayoniga ta’sirini alohida baholash uchun qo‘shimcha eksperimental tadqiqotlar talab etiladi. LOI gellarida glyuten konsentratsiyasining bo‘kish xususiyatlariga ta’siri SOI va NOI gellarida kuzatilgan qonuniyatdan farq qildi. Xususan, LOI tarkibida glyuten miqdorining ortishi bilan bo‘kish koeffitsiyentining ham ortib borishi kuzatildi. Bunday farq, avvalo, siljitish ta’sirida ishlov berilgan LOI namunalarida yuzaki qatlamning hosil bo‘lishi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. SOI va NOI namunalarida bunday strukturaviy qatlam kuzatilmadi.

LOI namunalarida hosil bo‘lgan yuzaki qatlam namunaning ichki qismiga nisbatan zichroq va qattiqroq bo‘lib, suvning material ichiga kirib borishi hamda namunaning hajmiy kengayishini mexanik jihatdan cheklagan. Shu bilan birga, glyuten konsentratsiyasining ortishi bilan mazkur yuzaki qatlamning shakllanish darajasi kamayib bordi. Natijada, glyuten miqdori past bo‘lgan, xususan, toza LOI

ISSN 3030-3907

namunasida bo‘kish koeffitsiyentining qiymati yuzaki qatlamning cheklovchi ta’siri ostida eng katta darajada o‘zgargan deb dastlabki hulosa qilish mumkin. Demak, LOI gellarida kuzatilgan bo‘kish xususiyatlarining o‘ziga xosligi nafaqat glyuten konsentratsiyasi, balki termomexanik ishlov jarayonida yuzaga keladigan yuzaki strukturaviy qatlamning shakllanishi bilan ham bog‘liq bo‘lishi mumkin.

Yuzaki qatlamning ta’siri doimiy xarakterga ega bo‘lmaganligi sababli, uning bo‘kish jarayoniga ta’sirini glyuten konsentratsiyasining ta’siridan alohida ajratib baholash imkoniyati mavjud bo‘lmadi. Bundan tashqari, nisbiy bo‘kish koeffitsiyenti glyuten qo‘shilmagan boshlang‘ich namunaning bo‘kish koeffitsiyentiga nisbatan hisoblangan. Shu sababli, LOI gellarida olingan natijalarni SOI va NOI gellarida kuzatilgan natijalar bilan bevosita miqdoriy jihatdan taqqoslash to‘g‘ri emas.

Shunga qaramay, SOI va NOI gellari bo‘yicha olingan eksperimental natijalar siljitish ta’sirida termomexanik ishlov berilgandan keyin ham glyuten va glyuten bo‘lmagan oqsil fazalari o‘rtasidagi mexanik o‘zaro ta’sir saqlanib qolishini ko‘rsatadi. Demak, siljitish jarayonida yuzaga keladigan strukturaviy o‘zgarishlar mazkur o‘zaro ta’sirni to‘liq bartaraf etmaydi, balki uning namoyon bo‘lish xarakteri va darajasiga ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Bu holat glyuten–o‘simlik oqsili kompozitlarining bo‘kish xususiyatlarini baholashda nafaqat oqsil tarkibini, balki termomexanik ishlov natijasida shakllangan strukturaviy holatni ham hisobga olish zarurligini ko‘rsatadi.

Uzluksiz glyuten tarmog‘ining shakllanishi bilan tolasimon (fibrillyar) tuzilmaning hosil bo‘lishi o‘rtasidagi bog‘liqlikni aniqlash maqsadida LOI, NOI va SOI oqsillarining glyuten bilan turli nisbatdagi aralashmalari yuqori haroratli siljitish qurilmasida termomexanik ishlov berildi. Tajribalarda bo‘kish xususiyatlarini o‘rganish uchun tayyorlangan aralash gellarda qo‘llanilgan kompozisiyalar aynan o‘sha tarkibiy nisbatlarda ishlatildi. Glyuten konsentratsiyasi umumiy oqsil massasiga nisbatan massaviy ulush (%) ko‘rinishida ifodalandi.

Siljitish ta’sirida shakllangan tolasimon tuzilmani baholash uchun olingan gel namunalari siljish yo‘nalishiga parallel yo‘nalishda egildi va hosil bo‘lgan sinish yuzasi vizual jihatdan tahlil qilindi. Bunda, avvalo, sinish yuzasida tolalarning mavjudligi hamda ularning siljish yo‘nalishiga nisbatan joylashuvi baholandi. Mazkur yondashuv avvalgi tadqiqotlarda qo‘llanilgan strukturaviy baholash metodikasiga o‘xshash bo‘lib, natijalar 1-rasmda keltirilgan.

Glyutensiz, ya’ni toza LOI, NOI va SOI xamirlarini siljitish ta’sirida qayta ishlash natijasida vizual jihatdan bir jinsli gel strukturalari hosil bo‘ldi. Biroq, ushbu namunalarning sinish yuzalarida siljish yo‘nalishi bo‘ylab shakllangan fibrillyar strukturalar kuzatilmadi. Bu holat mazkur oqsil izolyatlarining o‘z-

ISSN 3030-3907

o‘zidan siljitish ta’siri ostida aniq yo‘nalgan makrostrukturani shakllantirish qobiliyati cheklanganligini ko‘rsatadi.

Kompozisiyaga 16,7 % miqdorda glyuten qo‘shilganda LOI va SOI namunalari strukturasida sezilarli o‘zgarish kuzatilmadi. NOI–glyuten kompozisiyasida esa namuna egilgandan keyin nisbatan g‘adir-budur sinish yuzasi hosil bo‘ldi, biroq unda ham siljish yo‘nalishi bo‘ylab orientatsiyalangan struktura yoki aniq fibrillyar tuzilma aniqlanmadi. Demak, ushbu glyuten konsentratsiyasida aralashma strukturasining makroskopik darajada yo‘nalgan shakllanishi hali yetarli darajada namoyon bo‘lmagan. Glyutenning massaviy ulushi 33,3 % gacha oshirilganda LOI va NOI kompozisiyalarida siljish yo‘nalishi bo‘ylab ma’lum darajada orientatsiyalangan strukturalarning shakllanishi kuzatildi. Shunga qaramay, ushbu bosqichda aniq shakllangan tolasimon (fibrillyar) struktura hosil bo‘lmadi. Ayni glyuten konsentratsiyasida SOI–glyuten kompozisiyasida esa umuman yo‘nalgan struktura kuzatilmadi. Ushbu natijalar glyuten konsentratsiyasining ortishi bilan kompozit gel strukturasining siljitish oqimiga javobi oqsil turiga qarab farqlanishi mumkinligini ko‘rsatadi.

Barcha uch turdagi oqsil kompozisiyalarida tolasimon (fibrillyar) tuzilmaning shakllanishi glyutenning massaviy ulushi kamida 50,0 % ga yetgandagina kuzatildi. Bu natija kompozitsiyada fibrillyar strukturaning shakllanishi uchun glyutenning yetarli darajada yuqori konsentratsiyada bo‘lishi muhim ekanligini ko‘rsatadi. Glyutenning 50,0 % massaviy ulushida LOI–glyuten kompozisiyasida hosil bo‘lgan alohida tolalar NOI–glyuten va SOI–glyuten kompozisiyalarida kuzatilgan tolalarga nisbatan qalinroq bo‘ldi. Shu bilan birga, glyutenning massaviy ulushi 100,0 % ga yaqinlashishi bilan uchala oqsil kompozisiyasida ham hosil bo‘lgan tolalarning diametri izchil ravishda kamayib bordi. Demak, glyuten konsentratsiyasining o‘zgarishi nafaqat tolasimon strukturaning hosil bo‘lish imkoniyatini, balki shakllangan tolalarning morfologik xususiyatlarini, xususan, ularning qalinligini ham o‘zgartiradi.

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, glyuten kompozitsiyaning asosiy struktura hosil qiluvchi komponenti sifatida tolasimon tuzilmaning shakllanishida hal qiluvchi ahamiyatga ega. Biroq, tolalar diametrining LOI, NOI va SOI ishtirokidagi kompozisiyalarda turlicha bo‘lishi ikkilamchi oqsil fazasining tabiati ham shakllanayotgan fibrillyar strukturaning morfologik xususiyatlariga ta’sir ko‘rsatishi mumkinligini ko‘rsatadi (1-rasm).

ISSN 3030-3907

Glyutenning massa ulushi (massa/massa, %)	LOI + glyuten (loviya oqsili izolyati)		NOI + glyuten (no'xat oqsili izolyati)		SOI + glyuten (soya oqsili izolyati)	
	Namuna ko'rinishi	Tolaning ulushi, %	Namuna ko'rinishi	Tolaning ulushi, %	Namuna ko'rinishi	Tolaning ulushi, %
0 %		0 %		0 %		0 %
17,8 %		7,8 %		7,8 %		6,0 %
34,3 %		13,3 %		13,3 %		11,0 %
51,0 %		19,0 %		19,0 %		16,0 %
67,6 %		26,6 %		26,6 %		21,6 %
100 %		37,5 %		37,5 %		37,5 %
	Glyutenning massa ulushi ortishi					

Izoh: Namunalar yuqori haroratli siljitish qurilmasida ishlov berligan. Raqamlar tolasimon tuzilma ulushini (%) ifodalaydi.

1-rasm Glyuten miqdorini ortishi bilan gyuten va o'simlik oqsili kompozitsiyalarida tolasimon tuzilma miqdorining o'zgarishi

1-rasm. LOI–glyuten, NOI–glyuten va SOI–glyuten aralashmalari siljitish qurilmasida strukturalangandan keyin hosil bo'lgan makrotuzilmalarning rasmlari. Chap ustunda umumiy oqsil tarkibidagi glyutenning massa ulushi (%) keltirilgan bo'lib, rasmlardagi raqamlar namunalarning haqiqiy glyuten konsentratsiyasini (%) ifodalaydi. Siljitish qurilmasi 140 °C haroratda, 30 ayl/min (39 s^{-1}) siljitish tezligida 15 daqiqa davomida ishlatilgan. Har bir struktura ikki marta tayyorlangan (n = 2). Rasmlarda namunaning tashqi 4 sm qismiga xos bo'lgan aloxida makrotuzilmalar aks ettirilgan. Har bir namunaning kengligi 5-6 sm oraliqni tashkil etadi

Ushbu tadqiqotda glyutenning soya oqsili izolyati (SOI), no'xat oqsili izolyati (NOI) va loviya oqsili izolyati (LOI) bilan hosil qilgan kompozisiyalarining bo'kish xususiyatlari hamda yuqori haroratli siljitish qurilmasida strukturalanish qonuniyatlari o'rganildi. Dastlab, bir fazali SOI, NOI va LOI gellari muvozanat holatigacha bo'ktirilib, olingan eksperimental ma'lumotlar asosida glyuten saqlovchi aralash gellarning bo'kish xususiyatlari nazariy jihatdan baholandi. Nazariy baholashda glyuten va glyuten bo'lmagan oqsil fazalari o'rtasida mexanik o'zaro ta'sir mavjud emas, degan faraz qabul qilindi. Ushbu yondashuvga ko'ra, kompozitsiyada glyuten konsentratsiyasining ortishi bilan glyuten bo'lmagan oqsil fazasining bo'kish koeffitsiyenti ham ortishi kutilgan edi. Biroq, eksperimental natijalar mazkur nazariy taxminni tasdiqlamadi. Aksincha, olingan ma'lumotlar glyuten va glyuten bo'lmagan oqsil fazalari

ISSN 3030-3907

o‘rtasida mexanik o‘zaro ta’sir mavjudligini ko‘rsatdi va ushbu o‘zaro ta’sir kompozit gelning bo‘kish darajasining pasayishi bilan namoyon bo‘ldi.

Turli oqsil manbalari uchun absolyut bo‘kish koeffitsiyentlari o‘zaro farq qilgan bo‘lsa-da, ikkilamchi, ya’ni glyuten bo‘lmagan oqsilning bir fazali gellari bo‘yicha me’yorlashtirilgandan keyin, oqsil manbasidan qat’i nazar, bo‘kish jarayonida deyarli bir xil umumiy qonuniyat kuzatildi (1-rasm). Bu natija glyutenning turli o‘simlik oqsillari bilan o‘zaro ta’siri faqat ma’lum bir oqsil turiga xos emasligini va ushbu ta’sirning umumiy strukturaviy qonuniyatga ega bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatadi.

SOI va glyuten kompozisiyalari bo‘yicha olingan natijalar asosida mazkur mexanik o‘zaro ta’sirni glyutenning uzluksiz tarmoq strukturasini shakllantirishi bilan izohlash mumkin. Bunday tarmoq glyuten bo‘lmagan oqsil fazasining deformatsiyalanishi va bo‘kishiga mexanik jihatdan qarshilik ko‘rsatishi natijasida kompozit tizimning umumiy bo‘kish darajasini cheklashi mumkin. Shu nuqtai nazardan, tajribada kuzatilgan bo‘kish koeffitsiyentining kamayishi glyuten konsentratsiyasining ortishi bilan ortadigan strukturaviy mexanik cheklanishning mavjudligini ko‘rsatadi. Kuzatilgan umumiy qonuniyat glyutenning nafaqat soya oqsili, balki no‘xat va loviya oqsili izolyatlari bilan ham o‘xshash mexanik o‘zaro ta’sirga kirishishi mumkinligini ko‘rsatadi. Biroq, mazkur xulosani barcha o‘simlik oqsillariga umumlashtirish uchun qo‘shimcha eksperimental tadqiqotlar talab etiladi. Shu sababli, ushbu natijalar glyuten va o‘simlik oqsili tizimlarida kuzatiladigan mexanik o‘zaro ta’sirning umumiy xususiyatlarini aniqlash uchun muhim ilmiy asos sifatida qaralishi mumkin.

Polimer tarmog‘ining deformatsiyalanish xususiyatlarini qo‘shimcha tahlil qilish natijalari van der Sman tomonidan tavsiflangan qonuniyatlarga yaqin ekanligi aniqlandi. Mazkur moslik glyuten tarmog‘ining deformatsiyalanish xususiyatlari va uning turli oqsil fazalari bilan mexanik o‘zaro ta’siri o‘rtasida umumiy qonuniyat mavjudligini ko‘rsatadi. Shunday qilib, olingan natijalar glyutenning turli o‘simlik oqsillari bilan hosil qilgan kompozisiyalarida mexanik o‘zaro ta’sirning o‘xshash xarakterga ega ekanligi haqidagi ilmiy farazni qo‘llab-quvvatlaydi.

Shuningdek, olingan ikkita umumlashtirilgan egri chiziq natijalari glyuten va o‘simlik oqsili kompozitlarida turli oqsil manbalari qo‘llanilgan taqdirda ham strukturaning shakllanish jarayoni o‘xshash umumiy qonuniyatlarga bo‘ysunishini ko‘rsatdi. Mazkur natija turli oqsil tizimlarida kuzatilgan strukturaviy o‘zgarishlar glyutenning umumiy strukturaviy xususiyatlari bilan bog‘liq bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatadi. Biroq ushbu umumiy qonuniyatning fundamental sabablarini aniqlash hamda uning turli oqsil tizimlari uchun umumiyligini baholash uchun qo‘shimcha eksperimental tadqiqotlar talab etiladi.

ISSN 3030-3907

Olib borilgan tadqiqotning dastlabki nazariy qarashlariga ko‘ra, glyuten ma’lum bir kritik konsentratsiyaga yetgandan so‘ng uzluksiz tarmoq hosil qilishi va shu sababli ushbu kritik chegaradan yuqori konsentratsiyalarda bo‘kish koeffitsiyentining keskin pasayishi kutilgan edi. Biroq eksperimental natijalar bunday keskin chegaraviy o‘zgarishni ko‘rsatmadi. Aksincha, glyuten konsentratsiyasining ortishi bilan bo‘kish koeffitsiyentining taxminan chiziqli ravishda kamayishi kuzatildi va bu tendensiya glyutenning nisbatan past konsentratsiyalaridayoq namoyon bo‘ldi. Mazkur natija dastlabki gipotezani to‘liq qo‘llab-quvvatlamaydi hamda glyuten va glyuten bo‘lmagan oqsil fazalari o‘rtasidagi mexanik o‘zaro ta’sir glyutenning faqat yuqori konsentratsiyalarida emas, balki nisbatan past miqdorlarida ham yuzaga kelishi mumkinligini ko‘rsatadi.

Yuqori haroratli siljitish qurilmasida olib borilgan tajribalar esa glyuten kompozitsiyaning asosiy komponenti bo‘lgan holatlarda, ya’ni uning massaviy ulushi kamida 50,0 % ga yetganda, SOI, NOI va LOI bilan fibrillyar (tolasimon) tuzilmalar hosil bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatdi . Bu natija glyutenning kompozitsiyada nafaqat bo‘kish jarayoniga ta’sir qiluvchi komponent, balki siljitish ta’sirida yo‘nalgan va tolasimon strukturaning shakllanishini ta’minlovchi asosiy strukturaviy komponent sifatidagi rolini ham ko‘rsatadi.

Mazkur natijalar avvalgi tadqiqotlarda SOI va NOI ning glyuten bilan aralashmalarida glyutenning massaviy ulushi 50,5 % bo‘lganda fibrillyar tuzilmalar hosil bo‘lishi qayd etilgani bilan mos keladi. Shu bilan birga, ayrim tadqiqotlarda siljitish ta’sirida ishlov berilgan SOI–glyuten gellarida glyutenning nisbatan past, ya’ni 20,0 % dan yuqori konsentratsiyalarida ham tolalar hosil bo‘lishi kuzatilgan. Biroq mazkur natijalarni ushbu tadqiqot natijalari bilan bevosita taqqoslashda eksperimental sharoitlardagi farqlarni hisobga olish zarur. Xususan, avvalgi tadqiqotlarda boshlang‘ich quruq modda miqdori 30,0 % va ishlov berish harorati 95 °C ni tashkil etgan bo‘lib, bu ko‘rsatkichlar mazkur tadqiqotdagi ishlov berish sharoitlaridan sezilarli darajada farq qiladi. Shu sababli, fibrillyar strukturaning hosil bo‘lish chegarasidagi farqni faqat glyuten konsentratsiyasi bilan izohlash mumkin emas, balki jarayonning termik va fizik sharoitlari ham muhim omil sifatida qaralishi lozim.

So‘nggi yillarda olib borilgan reologik tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, NOI yoki SOI ning glyuten bilan kompozisiyalariga 120–140 °C harorat oralig‘ida siljitish ta’sirida termomexanik ishlov berilganda, glyuten uzluksiz yoki ikki uzluksiz fazali strukturani shakllantirishi mumkin. Bunda kompozit materialning yakuniy strukturaviy tashkil topishi, avvalo, ishlov berish sharoitlari va qo‘llanilayotgan xom ashyoning xususiyatlariga bog‘liq ekanligi aniqlangan. Demak, bir xil tarkibli oqsil kompozisiyalarida ham termomexanik ishlov berish

ISSN 3030-3907

parametrlarining o‘zgarishi strukturaning fazaviy tashkil topishiga va natijada materialning makrostrukturaviy xususiyatlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi mumkin.

Hozirgi kunga qadar siljitish oqimi ta’sirida tolasimon (fibrillyar) strukturalarning shakllanish mexanizmi to‘liq aniqlanmagan. Polimer tizimlarida bunday strukturalarning hosil bo‘lishini tushuntirish uchun eng ko‘p qo‘llaniladigan gipotezalardan biri ikki fazali tizimning siljitish oqimi ta’sirida deformatsiyalanishi va keyinchalik qattiqlashishiga asoslanadi. Ushbu gipotezaga ko‘ra, tizimning dispers fazasi siljitish ta’sirida deformatsiyalanadi va oqim yo‘nalishi bo‘ylab ma’lum darajada joylashadi. Natijada materialda strukturaviy va mexanik anizotropiya yuzaga keladi.

Mazkur yondashuv doirasida SOI dispers faza sifatida qaralib, uning siljitish oqimi ta’sirida deformatsiyalanishi va yo‘nalishi tolasimon strukturaning shakllanishiga asosiy hissa qo‘shishi mumkin, deb hisoblanadi. Biroq, siljitish ta’sirisiz tayyorlangan SOI va glyuten aralash gellarida glyutenning uzluksiz tarmoq hosil qilib, SOI zarrachalarini o‘z ichiga qamrab olishi ushbu an’anaviy talqinni murakkablashtiradi. Ya’ni, bunday tizimda faqat bitta dispers fazaning mavjudligi emas, balki glyutenning ham uzluksiz tarmoq sifatida shakllanishi ehtimoli mavjud. Shu sababli, ikki uzluksiz tarmoqdan tashkil topgan strukturaviy holat tolasimon strukturaning faqat dispers fazaning deformatsiyalanishi va joylashuviga asoslangan an’anaviy gipoteza bilan to‘liq izohlanmaydi. Bu holat glyuten va o‘simlik oqsili kompozisiyalarida fibrillyar strukturaning shakllanish mexanizmi yanada murakkab ekanligini va uni tushuntirishda kompozitsiyaning fazaviy tashkil topishi hamda glyuten tarmog‘ining strukturaviy roli ham hisobga olinishi zarurligini ko‘rsatadi.

Olingan natijalar shuni ko‘rsatdiki, glyuten bo‘lmagan oqsil fazasining mavjudligi tolasimon (fibrillyar) strukturalarning shakllanishi uchun majburiy shart emas. Bunga ikkinchi oqsil komponenti qo‘shilmagan, ya’ni faqat glyuten asosidagi tizimda ham tolasimon strukturalarning hosil bo‘lgani yetarli asos bo‘la oladi. Mazkur natija fibrillyar strukturaning shakllanishida glyuten bo‘lmagan oqsil fazasi yagona yoki majburiy strukturaviy omil emasligini ko‘rsatadi. Gidratatsiyalangan glyutenni ikki fazali tizim sifatida ko‘rib chiqish mumkin. Bunda glyutenin va gliadin fazalari mos ravishda tizimning ikki tarkibiy fazasini tashkil etadi. Shunday qilib, gidratatsiyalangan glyutenning o‘zi ham dispers va uzluksiz fazalardan tashkil topgan tizim uchun zarur bo‘lgan strukturaviy shartlarni ta’minlashi mumkin. Bu holat ikkinchi oqsil komponenti mavjud bo‘lmagan sharoitda ham gidratatsiyalangan glyutendan tolasimon strukturalar hosil bo‘lishini izohlashga imkon beradi.

Bundan tashqari, sanoatda ishlab chiqariladigan glyuten tarkibida ma’lum miqdorda kraxmal qoldiqlari mavjud bo‘lishi mumkin. Mazkur kraxmal qoldiqlari

ISSN 3030-3907

ham tizimda ikkinchi faza vazifasini bajarishi ehtimoldan xoli emas. Tajriba natijalari ikkinchi biopolimer nisbatan kam miqdorda, ya'ni 50,0 % gacha qo'shilganda ham tolasimon strukturalarning shakllanishi saqlanib qolishini ko'rsatdi. Biroq glyuten kompozitsiyaning asosiy uzluksiz komponenti bo'lmay qolganida, tolasimon strukturalarning shakllanishi kuzatilmadi.

Shu asosda, glyuten saqlovchi kompozisiyalarda tolasimon strukturalarning shakllanishida asosiy strukturaviy rolni aynan glyuten bajaradi, degan xulosaga kelish mumkin. Bunda ikkinchi biopolimer komponenti, avvalo, kompozitsiyaning to'ldiruvchi fazasi sifatida ishtirok etadi. Shu bilan birga, uning miqdorini o'zgartirish strukturaviy xususiyatlarni boshqarish nuqtai nazaridan amaliy ahamiyatga ega. Tadqiqot natijalariga ko'ra, ikkinchi biopolimer miqdorini o'zgartirish orqali hosil bo'ladigan tolalarning qalinligi hamda tolasimon strukturaning rivojlanish darajasini, ya'ni fibrillanish darajasini boshqarish mumkin.

Shuningdek, tolasimon strukturalarning shakllanishi faqat kompozitsiyaning tarkibiy nisbatlari bilan belgilanmay, balki termomexanik ishlov berish sharoitlariga ham bevosita bog'liq. Xususan, ishlov berish harorati va siljitish davomiyligi fibrillyar strukturaning shakllanish darajasiga ta'sir qiluvchi muhim texnologik parametrlar hisoblanadi. Shu sababli, amaliy texnologik jarayonda mazkur parametrlarni maqbul qiymatlarda tanlash va barqaror boshqarish muhim ahamiyat kasb etadi.

Umuman olganda, tadqiqot natijalari glyuten saqlovchi kompozisiyalarda tolasimon struktura shakllanishining asosiy strukturaviy asosi uzluksiz glyuten tarmog'ining hosil bo'lishi bilan bog'liqligini ko'rsatadi. Demak, glyutenning kompozitsiyada uzluksiz tarmoq hosil qilishi fibrillyar strukturaning shakllanishi uchun muhim va zarur strukturaviy shartlardan biri sifatida qaralishi mumkin.

XULOSA.

Olib borilgan tadqiqotlar natijasida glyutenning soya oqsili izolyati (SOI), no'xat oqsili izolyati (NOI) va loviya oqsili izolyati (LOI) bilan hosil qilgan kompozisiyalarining bo'kish xususiyatlari hamda yuqori haroratli siljitish ta'sirida strukturalanish qonuniyatlari aniqlandi. Bir fazali oqsil gellari va kompozit tizimlarni taqqoslash glyuten va glyuten bo'lmagan oqsil fazalari o'rtasida mexanik o'zaro ta'sir mavjudligini ko'rsatdi. Ushbu ta'sir glyuten konsentratsiyasining ortishi bilan bo'kish koeffitsiyentining kamayishida namoyon bo'ldi.

Turli oqsil manbalarining absolyut bo'kish koeffitsiyentlari farq qilgan bo'lsa-da, me'yorlashtirilgandan so'ng SOI, NOI va LOI tizimlarida deyarli bir xil umumiy qonuniyat kuzatildi. Bu glyutenning turli o'simlik oqsillari bilan mexanik o'zaro ta'siri o'xshash strukturaviy asosga ega bo'lishi mumkinligini ko'rsatadi. Yuqori haroratli siljitishdan keyin ham SOI va NOI tizimlarida mazkur mexanik

ISSN 3030-3907

ta’sir saqlanib qoldi. Yuqori haroratli siljitish qurilmasidagi tajribalar barcha uch turdagi oqsil bilan fibrillyar strukturalar glyutenning massaviy ulushi kamida 50,0 % bo‘lganda shakllanishini ko‘rsatdi. Glyuten miqdori hosil bo‘ladigan tolalarning qalinligi va fibrillanish darajasiga ham ta’sir ko‘rsatdi. Glyuten kompozitsiyaning asosiy uzluksiz komponenti bo‘lmagan holatda esa fibrillyar struktura hosil bo‘lmadi. Shuningdek, glyuten bo‘lmagan ikkilamchi oqsil fazasi fibrillyar struktura hosil bo‘lishining majburiy sharti emasligi aniqlandi. Ikkinchi oqsil komponentisiz gidratatsiyalangan glyuten tizimida ham tolasimon strukturalar hosil bo‘ldi. Ikkilamchi biopolimer miqdorini o‘zgartirish orqali tolalarning qalinligi va fibrillanish darajasini boshqarish mumkinligi aniqlandi.

Umuman olganda, glyuten saqlovchi kompozisiyalarda fibrillyar struktura shakllanishining asosiy strukturaviy omili glyutenning uzluksiz tarmoq hosil qilish qobiliyatidir. Ikkilamchi oqsil yoki biopolimer komponenti esa asosan to‘ldiruvchi faza sifatida ishtirok etib, hosil bo‘ladigan strukturaning morfologik xususiyatlarini modulyatsiya qilishi mumkin. Shu sababli, glyuten va ikkilamchi komponent miqdorini boshqarish fibrillyar strukturaning kerakli xususiyatlarini shakllantirishning istiqbolli usuli hisoblanadi. Fibrillyar strukturaning shakllanishi, shuningdek, termomexanik ishlov berish sharoitlariga ham bog‘liq bo‘lib, ishlov berish harorati va siljitish davomiyligini maqbul darajada tanlash muhim ahamiyatga ega. Olingan natijalar glyuten–o‘simlik oqsili kompozisiyalarining strukturaviy xususiyatlarini boshqarish va ularni o‘simlik oqsillari asosidagi tolasimon oziq-ovqat mahsulotlari, jumladan, go‘sht o‘rnini bosuvchi yarimfabrikatlar olish texnologiyasida qo‘llash uchun ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Sui X., Zhang T., Zhang X., Jiang L. High-Moisture Extrusion of Plant Proteins: Fundamentals of Texturization and Applications // Annual Review of Food Science and Technology. – 2024. – Vol. 15. – P. 125–149.
2. Остриков А.Н., Абрамов О.В., Логинов А.В. и др. Экструзионная технология пищевых текстуратов // Пищевая промышленность. – 2007. – № 9. – С. 18–20.
3. Асраркулова А.С., Булушова Н.В. Пшеничный глютен и его гидролизаты. Возможные направления практического использования. Обзор // Биотехнология. – 2018. – Т. 34, № 4. – С. 6–17бет.
4. Physicochemical properties, structural characteristics and protein digestibility of pea protein-wheat gluten composited meat analogues prepared via high-moisture extrusion // Food Hydrocolloids. – 2024. – Vol. 156. – 110283.
5. Bondu C., Gimeno F., Evon P., Vaca-Medina G., Rouilly A. Use of FTIR to study secondary structure of texturized plant proteins by high moisture extrusion

ISSN 3030-3907

cooking, a comprehensive review // Food Research International. – 2024. – Vol. 197. – 115147.
6. Куликов Д.С., Гольдштейн В.Г., Страхова С.А. Технология производства клейковины и крахмала с учетом влияния технологических параметров // Вестник КрасГАУ. – 2018. – № 3 (138). – С. 172–175

ISSN 3030-3907