NAMANGAN DAVLAT UNIVERSITETI ILMIY AXBOROTNOMASI, [2025-1]
ISSN:2181-1458
ISSN:2181-0427

02.00.00-KIMYO FANLARI
journal.namdu.uz
CHEMICAL SCIENCES

Orazova Shaxnoza
O‘zR FA Qoraqalpog‘iston bo‘limi, Tabiiy fanlar ilmiy-tadqiqot instituti
Zokirov Bekzod
Qarshi davlat texnika universiteti
Xusenov Arslonnazar
Toshkent kimyo-texnologiya instituti
Raxmanberdiev Gappar
Toshkent kimyo-texnologiya instituti

BIOPARCHALANUVCHI PLYONKALAR FIZIK-MEXANIK XUSUSIYATLARIGA KOMPONENTLAR NISBATINING TA’SIRI

Annotatsiya. *Ushbu tadqiqot ishida seritsin va inulin asosida plyonka ko‘rinishidagi biomateriallar olindi va komponentlar massa nisbatining fizik-mexanik xossalariga ta’siri o‘rganildi. Tajribalarda seritsin hamda seritsin:inulin (1:0,5; 1:0,75; 1:1) kompozitsiyalaridan foydalanildi. Plyonka namunalarining namligi, qalinligi, cho‘zilishdagi mustahkamligi va uzilishdagi nisbiy mustahkamligi aniqlandi. Seritsin plyonkasining namligi 16,4% ni, qalinligi 0,14 mm ni, cho‘zilishdagi mustahkamligi esa 3,51 MPa ni tashkil etdi. Inulinni 1:0,5 va 1:1 nisbatlarda qo‘shish natijasida bu ko‘rsatkich mos ravishda 4,08 va 4,62 MPa gacha oshdi. Eng yuqori mustahkamlik 1:0,75 (5,37 MPa) nisbatdagi seritsin:inulin kompozitsiyasidan olingan plyonkada aniqlandi. Ushbu kompozitsiya uzilishdagi nisbiy mustahkamlik bo‘yicha ham yuqori qiymatni ko‘rsatib, 31,3% ni tashkil etdi. Fizik-mexanik ko‘rsatkichlarga ko‘ra, o‘rganilgan kompozitsiyalar orasida seritsin:inulinning 1:0,75 massa nisbati eng samarali deb baholandi.*

Kalit so‘zlar: *seritsin, inulin, biopolimer, plyonka, glitserin, plastifikatsiya.*

Оразова Шаксноза
Каракалпакстанский филиал Академии наук Республики Узбекистан, Научно-исследовательский институт естественных наук
Зокиров Бекзод
Технический университет Карши
Хусенов Арслонназар
Ташкентский химико-технологический институт
Раксманбердиев Гаппар
Ташкентский химико-технологический институт

ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПЛЕНОК

Аннотация. *В этой исследовательской работе биоматериалы в виде пленки были получены на основе серицина и инулина, а также изучено влияние массового соотношения компонентов на физико-механические свойства. В экспериментах использовались составы серицина и церицина:инулина (1:0,5; 1:0,75; 1:1). Определялись влажность, толщина, прочность при растяжении и относительная прочность в разрыве образцов пленки. Содержание влаги в пленке серицина составляло 16,4%, толщина — 0,14 мм, а прочность при растяжении — 3,51 МПа. В результате добавления инулина в соотношениях 1:0,5 и 1:1 этот показатель вырос до 4,08 и 4,62 МПа соответственно. Наивысшая консистенция была определена в пленке, полученной из серицин-инулинового состава, в соотношении 1:0,75 (5,37 МПа). Эта композиция также показала высокое значение по относительной силе разрыва — 31,3%. По физикомеханическим показателям, среди изученных составов наиболее эффективным было оценено отношение массы церицина:инулина 1:0,75.*

Ключевые слова: *серицин, инулин, биополимер, пленка, глицерин, пластификация.*

Orazova Shaxnoza
Karakalpakstan Branch of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Research Institute of Natural Sciences

Zokirov Bekzod
Karshi State Technical University
Xusenov Arslonnazar
Tashkent Chemical-Technological Institute
Raxmanberdiev Gappar
Tashkent Chemical-Technological Institute

INFLUENCE OF COMPONENT RATIO ON PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES OF BIODEGRADABLE FILMS

Annotation. *In this research work, biomaterials in the form of film were obtained on the basis of sericin and inulin, and the effect of the mass ratio of components on the physico-mechanical properties was studied. In the experiments, the compositions of sericin and ceritsin:inulin (1:0,5; 1:0,75; 1:1) were used. The moisture, thickness, strength at stretch and relative strength in discontinuity of film samples were determined. The moisture content of the sericin film was 16.4%, the thickness was 0.14 mm, and the strength at stretch was 3.51 MPa. As a result of the addition of inulin in ratios of 1:0.5 and 1:1, this figure increased to 4.08 and 4.62 MPa, respectively. The highest consistency was determined in the film obtained from the sericine:inulin composition in the ratio of 1:0.75 (5.37 MPa). This composition also showed a high value in terms of relative strength in discontinuity, amounting to 31.3%. According to physico-mechanical indicators, among the studied compositions, the mass ratio of 1:0.75 of cericin:inulin was evaluated as the most effective.*

Keywords: *sericine, inulin, biopolymer, film, glycerin, plasticization.*

Sintetik polimerlar chiqindilarini kamaytirish zarurati qayta tiklanadigan biologik manbalardan olinadigan oqsillar va polisaxaridlar asosidagi bioparchalanuvchi materiallarni ishlab chiqishga bo‘lgan qiziqishni oshirmoqda. Bunday materiallar uchun muhim yo‘nalishlardan biri tabiiy polimerlar kompozitsiyasi orqali boshqariladigan mexanik, strukturaviy va biologik xususiyatlarga ega plyonkalar olishdir. Bu borada oqsil-polisaxarid kompozitsiyalari ayniqsa istiqbolli bo‘lib, ular komponentlar o‘rtasidagi vodorod bog‘lari va boshqa nokovalent o‘zaro ta’sirlar natijasida hosil bo‘ladigan material xususiyatlarini boshqarish imkonini beradi.

Ipak sanoatining ikkilamchi mahsuloti bo‘lgan seritsin ana shunday istiqbolli tabiiy oqsillardan biridir. Bombyx mori pillalarida seritsin tolani qoplovchi oqsil bo‘lib, u ipakni qayta ishlashning yelimsizlantirish bosqichida ajratib olinadi. Cao va Zhang ma’lumotlariga ko‘ra, seritsin B. mori ipagi tarkibining taxminan 15-35 foizini tashkil etishi mumkin. [1]. Seritsinni qayta ishlash ipak chiqindilarini qimmatli biomaterialga aylantirish nuqtayi nazaridan ham muhimdir.

Seritsin tarkibidagi serin, aspartat, treonin va boshqa qutbli aminokislotalar uning makromolekulasida ko‘p sonli funksional guruhlar bo‘lishini ta’minlaydi. Ushbu strukturaviy xususiyat seritsinni boshqa polimerlar bilan modifikatsiyalash va kompozitsion materiallar ishlab chiqarish uchun mos matritsaga aylantiradi. Saad va boshqalar seritsindan plyonka, g‘ovak materiallar va gidrogellar olishda foydalanish mumkinligini hamda uning biomaterial sifatidagi xususiyatlari ekstraksiya va qayta ishlash usullariga bog‘liqligini ko‘rsatib o‘tdilar [2].

So‘nggi tadqiqotlarda seritsinning biomosligi va funksional guruhlarga boyligi sababli to‘qima muhandisligi, regenerativ tibbiyot va dori yetkazib berish tizimlarida qo‘llanish imkoniyatlari keng o‘rganilmoqda. Liu va hammualliflar seritsin asosida plyonka, gidrogel, scaffold va boshqa mikro- hamda makrostrukturali biomateriallar yaratish mumkinligini qayd etgan [3]. Veiga va hammualliflar esa seritsinning suvda eruvchanligi, biologik xususiyatlari va hujayralar bilan o‘zaro ta’siri uning zamonaviy biomuhandislikdagi imkoniyatlarini kengaytirishini ta’kidlaydi [4].

Biroq sof seritsindan tayyorlangan plyonkalar mexanik xususiyatlari, ayniqsa mo‘rtligi sababli ayrim amaliy maqsadlar uchun cheklanishi mumkin. Ushbu muammoni hal qilishning asosiy usullaridan biri seritsinni polisaxaridlar bilan kompozitsiyalashdir. Sothornvit seritsin-glyukomannan plyonkalarini o‘rganib, oqsil:polisaxarid nisbati materialning mexanik va to‘siq xususiyatlariga sezilarli ta’sir qilishini aniqlagan. Bundan tashqari, glitserin miqdorining oshishi tensile strength va elastiklik modulini kamaytirishi, nisbiy cho‘zilishni esa keskin oshirishi ko‘rsatilgan [5].

Plastifikator tanlash ham seritsin plyonkalarining xususiyatlarini shakllantirishda muhimdir. Yun va hammualliflar glitserinning seritsin matritsasida plastifikator sifatida ishtirok etib, plyonkaning cho‘ziluvchanligini oshirishini aniqlagan. Mualliflar bunda glitserinning o‘zi bilan bir qatorda plyonkadagi namlik ham plastifikatsiya jarayoniga hissa qo‘shishini ko‘rsatgan [6]. Shu sababli seritsin asosidagi materiallarda glitserin miqdori, qoldiq namlik va mexanik xususiyatlarni o‘zaro bog‘liq ko‘rsatkichlar sifatida baholash zarur.

Seritsinning barqaror biopolimer sifatidagi imkoniyatlari farmatsevtika va biotibbiyot nuqtai nazaridan ham keng ko‘rib chiqilgan. Seritsinning funksional guruhlarga boyligi uni kimyoviy modifikatsiya

qilish, boshqa tabiiy polimerlar bilan birlashtirish va turli shakldagi biomateriallarga aylantirish imkonini beradi [7].

Inulin ko‘p sonli gidroksil guruhlarga ega polisaxarid bo‘lib, seritsinning qutbli funksional guruhlari bilan molekulalararo o‘zaro ta’sirlarda ishtirok etishi mumkin. Biroq seritsin-inulin plyonkalarida komponentlar massa nisbatining namlik, qalinlik, mustahkamlik va deformatsion xususiyatlarga birgalikdagi ta’siri bo‘yicha ma’lumotlar seritsinning pektin yoki glyukomannan kabi boshqa polisaxaridlar bilan tizimlariga qaraganda cheklangan. Shu sababli seritsin-inulin kompozitsiyalarining tarkib-xossa bog‘liqligini o‘rganish ilmiy qiziqish uyg‘otadi.

Tadqiqot ishining maqsadi - seritsin va inulin asosida glitserin bilan plastifikatsiyalangan bioparchalanuvchi plyonkalar olish hamda seritsin:inulin massa nisbatining ularning namligi, qalinligi, cho‘zilishdagi mustahkamligi va uzilishdagi nisbiy cho‘zilishiga ta’sirini aniqlashdan iborat.

Materiallar va metodlar.

Plyonka kompozitsiyalarini tayyorlash. Tadqiqotda seritsin asosiy oqsil komponenti, inulin esa polisaxarid modifikator sifatida qo‘llanildi. Tajriba uchun sof seritsin hamda seritsin:inulin = 1:0,5; 1:0,75 va 1:1 massa nisbatidagi kompozitsiyalar tayyorlandi. Barcha variantlarda glitserin miqdori quruq polimer massasiga nisbatan 15% etib belgilandi. Ushbu tajriba dizayni yuklangan ishdagi to‘rtta asosiy kompozitsiyaga mos keladi. Seritsin va inulin tegishli massa nisbatlarida bir jinsli kompozitsion eritma hosil bo‘lguncha aralashtirildi. So‘ng glitserin qo‘shilib, tizim gomogenlashtirildi. Tayyor kompozitsion eritmalar bir xil yuzali qoliplarga quyilib, quritish yo‘li bilan plyonka holiga keltirildi. Qurigan plyonkalar qolipdan ajratilib, keyingi fizik va mexanik tahlillar uchun tayyorlandi.

Plyonka namligi aniqlash. Namunalarning namlik miqdori quritish shkafida 105±2 °C haroratda aniqlandi. Plyonkaning namlik miqdori quyidagi formula asosida hisoblandi:

$$Namligi = \frac{(m_0 - m_1)}{m_0} \times 100$$

Bu yerda: m_0 – plyonkaning dastlabki og‘irligi, g; m_1 – 105°C da quritilgandan keyingi plyonkaning doimiy vazni, g.

Plyonka qalinligi. Olingan plyonkalar qalinligi yuqori aniqlikdagi raqamli mikrometr yordamida aniqlangan. Har bir plyonka uchun tasodifiy tanlangan beshta nuqtada o‘lchovlar olib borilib, ularning o‘rtacha qiymati asosida qalinlik belgilandi.

$$D_{o'r} = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5}{5}$$

Bu yerda: $D_{o'r}$ – plyonkaning o‘rtacha qalinligi (mm), d_1, d_2, d_3, d_4, va d_5 – plyonkaning tasodifiy nuqtalaridan o‘lchangan qalinlik qiymatlari (mm).

Plyonkalarning cho‘zilishdagi mustahkamligini aniqlash. Plyonkalarning mexanik xususiyatlari AGS-J (Shimadzu, Yaponiya) mexanik sinov qurilmasida aniqlandi. Quruq holatdagi namunalarni sinashda 50 N yuklanish datchigi qo‘llanildi. Sinov uchun plyonkalar 5 mm kenglik va 50 mm uzunlikdagi tasma shaklida kesildi. Namunaning boshlang‘ich ishchi uzunligi, ya’ni o‘lchov belgilari orasidagi masofa 15 mm etib belgilandi. Mexanik sinovdan oldin namunalar 25°C harorat va 50% nisbiy namlik sharoitida 48 soat davomida ushlandi. Tayyorlangan namunalar qurilma qisqichlari orasiga mahkamlanib, uzilish sodir bo‘lgunga qadar bir o‘qli cho‘zishga uchratildi. Sinov davomida kuch-uzayish ko‘rsatkichlari qayd etilib, ular asosida kuchlanish-deformatsiya egri chiziqlari olindi. Cho‘zilishdagi mustahkamlik quyidagi formula asosida hisoblandi:

$$TS = \frac{F_{max}}{A_0} = \frac{F_{max}}{b \times h}$$

Bu yerda: TS - cho‘zilishdagi mustahkamlik, MPa; F_{max} - namuna uzilishigacha qayd etilgan maksimal kuch, N; A_0 - namunaning boshlang‘ich ko‘ndalang kesim yuzasi, mm^2; b - namuna kengligi, mm; h - plyonkaning o‘rtacha qalinligi, mm. 1 N/mm^2 = 1 MPa bo‘lganligi sababli natijalar MPa birlikda ifodalandi.

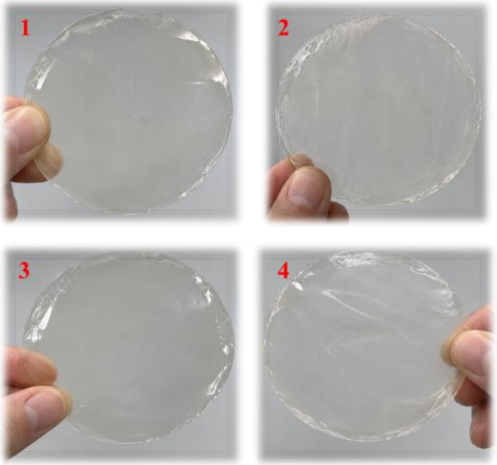
Plyonkalarning uzilishdagi nisbiy cho‘zilishini aniqlash. Uzilishdagi nisbiy cho‘zilish plyonkaning mexanik yuklama ta’sirida uzilishgacha deformatsiyalanish qobiliyatini tavsiflovchi ko‘rsatkich sifatida aniqlandi. Namunaning boshlang‘ich ishchi uzunligi L_0 = 15 mm deb olindi. Mexanik cho‘zish davomida namuna uzilgan nuqtadagi uzayish qayd qilindi. Uzilishdagi nisbiy cho‘zilish quyidagi formula asosida hisoblandi:

$$EB = \frac{(L_1 - L_0)}{L_0} \times 100$$

Bu yerda: EB - uzilishdagi nisbiy cho‘zilish, %; L_0 - namunaning boshlang‘ich ishchi uzunligi, mm; L_1 - namunaning uzilish paytidagi uzunligi, mm.

Natijalar va uning muhokamasi.

Seritsin hamda seritsin:inulin kompozitsion eritmalarini glitserin bilan plastifikatsiyalash orqali plyonka shaklidagi biomateriallar olindi (1-rasm).



1-rasm. Seritsin asosidagi plyonka namunalari: 1-seritsin; 2- seritsin:inulin (1:1); 3- seritsin:inulin (1:0,75); 4-seritsin:inulin (1:0,5)

Komponentlar nisbatining plyonka strukturaviy xususiyatlariga ta'sirini baholash, plyonka namunalarining fizik-kimyoviy va mexanik ko'rsatkichlarini aniqlash bo'yicha tajribalar olib borildi. Seritsin va inulin asosidagi kompozitsion eritmalardan plyonka olishda komponentlarning massa nisbati biomaterialda namlikni bog'lash xususiyati va plyonkaning geometrik ko'rsatkichlariga bevosita ta'sir qilishi mumkin. Shu sababli seritsin miqdorini o'zgartirmagan holda inulin ulushini bosqichma-bosqich kamaytirish orqali tayyorlangan kompozitsiyalarning plyonka hosil qilish xususiyatlari o'rganildi. Plastifikator sifatida glitserindan foydalanildi va seritsin:inulin massa nisbatining plyonka namligi va qalinligiga ta'siri qiyosiy o'rganildi. Tajriba natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Plyonka shaklidagi biomaterial tarkibi

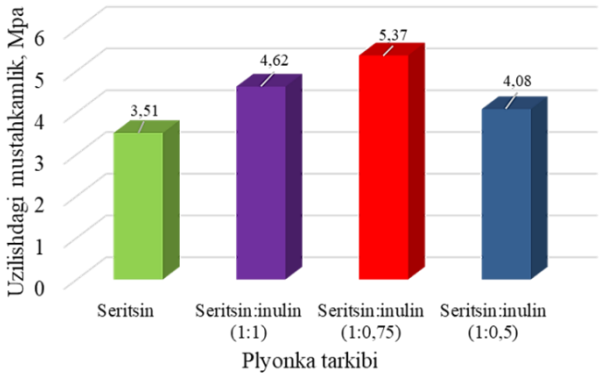
№	Plyonka tarkibi	Miqdori, g (%)	Gliserin miqdori, quruq massaga nisbatan, %	Plyonka namligi, g, %	Plyonka qalinligi, mm
1	Seritsin	1	15	16,4±0,3	0,14±0,01
2	Seritsin:inulin	1:1	15	9,4±0,2	0,08±0,01
3	Seritsin:inulin	1:0,75	15	10,3±0,2	0,10±0,01
4	Seritsin:inulin	1:0,5	15	14,1±0,3	0,12±0,01

1-jadvaldagi natijalarga ko'ra, sof seritsin asosida tayyorlangan nazorat plyonkasida namlik 16,4%, qalinligi 0,14 mm ni tashkil etdi. Ushbu natijani seritsinning gidrofil tabiati va peptid guruhlarining suv molekulalari bilan vodorod bog'lari hosil qilish xususiyati bilan izohlash mumkin. Inulin kiritilgandan so'ng ikkala ko'rsatkichda ham tarkibdagi massa nisbatga bevosita bog'liq holda kamayish kuzatildi. Jumladan, seritsin:inulinning 1:0,5 massa nisbatida plyonka namligini 14,1%, qalinligini esa 0,12 mm gacha kamaydi. Mazkur o'zgarish seritsinning qutbli guruhlari bilan inulinning –OH guruhlari o'rtasida molekulalararo vodorod bog'lari hosil bo'lishi hisobiga suvning qisman kamroq bog'lanib qolganligi bilan izohlanish mumkin. 1:0,75 massa nisbatdagi seritsin:inulin kompozitsiyasidan olingan plyonka namunasida namlik 10,3%, qalinligi esa 0,10 mm gacha kamaydi. Yani, ushbu tarkibda inulin gidroksil guruhlarining seritsin bilan molekulalararo o'zaro ta'siri etish imkoniyati ortgan. Natijada, polimerlarning o'zaro bog'lanishi kuchayib, quritish jarayonida plyonkada qoldiq namlikning kamayishiga olib kelgan. Seritsin va inulin teng massa nisbatida (1:1) eng past namlik (9,4%) va eng kichik qalinlikdagi (0,08 mm) plonka olindi.

Demak, nulin ulushining ortishi bilan plyonka namligi va qalinligining kamaydi. Biroq, plyonka olishda maqbul kompozitsiyani tanlashda faqat namlik va qalinlikka asoslanmasdan, balki uning mustahkamligi, elastikligi va strukturaviy barqarorliklarini ham aniqlash lozim.

Shuni inobatga olgan holda keying tajribalarimizda seritsin asosidagi plyonkalarning cho'zilishdagi mustahkamligi aniqlandi. Tajriba natijalari 2-rasmda keltirilgan.

2-rasmdagi tajriba natijalariga ko'ra, faqat seritsindan iborat plyonkaning cho'zilishdagi mustahkamligi 3,51 MPa ni tashkil etdi. Kompozitsiyaga inulin kiritilishi ushbu ko'rsatkichning oshishiga olib keldi. Jumladan, 1:0,5 massa nisbatdagi seritsin:inulin plyonka namunasining mustahkamligi 4,08 Mpa, 1:1 nisbatda esa 4,62 Mpa ni tashkil etdi. Ushbu natija faqat seritsindan iborat plyonkaga nisbatan tegishlicha 16,2 va 31,6% ga yuqori bo'ldi.

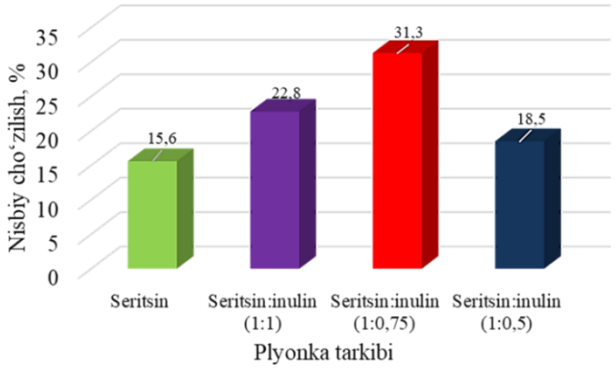


2-rasm. Seritsin asosidagi plyonkalarning cho'zilishdagi mustahkamligi

Cho'zilishdagi mustahkamlik bo'yicha eng yuqori natija 1:0,75 massa nisbatdagi seritsin:inulin kompozitsiyasidan olingan namunada kuzatilib, 5,37 Mpa ni tashkil etdi. Mazkur natija 1:0,75 nisbatda seritsin:inulin makromolekulalari orasida barqaror intermolekulyar kompleks shakllanganligidan dalolat beradi. Inulin miqdorini 0,75 dan 1,0 massa nisbatgacha oshirish plyonka mustahkamligining 5,37 dan 4,62 Mpa gacha pasayishiga olib keldi. Demak, inulinning ta'siri chiziqli bo'lmasdan, ma'lum nisbatgacha matritsani mustahkamlagan, yuqori miqdorda esa qo'shimcha mustahkamlik bermagan.

Plyonka shaklidagi biomaterialning deformatsiyalanish va uzilishgacha cho'zilish qobiliyati ham uning funksional xususiyatlarini belgilaydi. Shu

sababli turli nisbatlarda olingan plyonka namunalarining uzilishdagi nisbiy cho‘zilish darajasi aniqlandi. Tajriba natijalari 3-rasmda keltirilgan.



3-rasm. Seritsin asosidagi plyonkalarning plyonkalarning uzilishdagi nisbiy cho‘zilish darajasi

3-rasmdagi tajriba natijalariga ko‘ra, faqat seritsindan iborat plyonkaning uzilishdagi nisbiy cho‘zilish darajasi 15,6% ni tashkil etdi. 1:0,5 massa nisbatdagi seritsin:inulin asosida olingan plyonka namunasining nisbiy cho‘zilish darajasi 18,5% bo‘lsa, 1:1 nisbatdagi namunada 22,8% ekanligi aniqlandi. Eng yuqori qiymat 1:0,75 massa nisbatli seritsin: inulin kompozitsiyadan olingan plyonka namunasida (31,3%) kuzatildi. Demak, ushbu tarkib nafaqat yuqori mustahkamlik (5,37 Mpa), balki eng yuqori deformatsiyalanish xususiyatiga (31,3%) ega ekanligi aniqlandi.

Xulosa.

Seritsin va inulin asosida 15% glitserin bilan plastifikatsiyalangan plyonka shaklidagi kompozitsion biomateriallar olindi. Inulin ulushining ortishi bilan plyonka namligi 16,4% dan 9,4% gacha, qalinligi esa 0,14 mm dan 0,08 mm gacha kamayishi aniqlandi.

Inulinning seritsin matritsasiga kiritilishi plyonkaning cho‘zilishdagi mustahkamligini oshirdi. Sof seritsinda ushbu ko‘rsatkich 3,51 Mpa bo‘lgan bo‘lsa, seritsin:inulin 1:0,5; 1:1 va 1:0,75 kompozitsiyalarida mos ravishda 4,08; 4,62 va 5,37 Mpa ni tashkil etdi. Eng yuqori natija 1:0,75 nisbatda qayd etilib, sof seritsinga nisbatan mustahkamlik 53,0% ga oshdi.

Seritsin:inulin 1:0,75 kompozitsiyasi uzilishdagi nisbiy cho‘zilish bo‘yicha ham eng yuqori 31,3% qiymatni namoyon etdi va mustahkamlik hamda deformatsiyalanish qobiliyatining eng maqbul muvozanati ushbu tarkibli plyonka namunasida kuzatildi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Cao T.T., Zhang Y.Q. Processing and characterization of silk sericin from Bombyx mori and its application in biomaterials and biomedicines. Materials Science and Engineering C. 2016;61:940-952. DOI: 10.1016/j.msec.2015.12.082.

2. Saad M., El-Samad L.M., Gomaa R.A., Augustyniak M., Hassan M.A. A comprehensive review of recent advances in silk sericin: Extraction approaches, structure, biochemical characterization, and biomedical applications. International Journal of Biological Macromolecules. 2023;250:126067. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.126067.

3. Liu J., Shi L., Deng Y., Zou M., Cai B., Song Y., Wang Z., Wang L. Silk sericin-based materials for biomedical applications. Biomaterials. 2022;287:121638. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2022.121638.

4. Veiga A., Foster O., Kaplan D.L., Oliveira A.L. Expanding the boundaries of silk sericin biomaterials in biomedical applications. Journal of Materials Chemistry B. 2024;12(29):7020-7040. DOI: 10.1039/D4TB00386A.

5. Sothornvit R. Properties of sericin-glucomannan composite films. International Journal of Food Science & Technology. 2009;44(7):1395-1400. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2009.01969.x.

6. Yun H., Kim M.K., Kwak H.W., Lee J.Y., Kim M.H., Lee K.H. The role of glycerol and water in flexible silk sericin film. International Journal of Biological Macromolecules. 2016;82:945-951. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2015.11.016.

7. Silk Sericin: A Promising Sustainable Biomaterial for Biomedical and Pharmaceutical Applications. Polymers. 2022;14(22):4931. DOI: 10.3390/polym14224931.