



TABIY IPAK FIBROINNING TARKIBI, TUZILISHI, XOSSALARI VA QO'LLANILISHI:

Umirboyeva Sh.A.
Samandarova S.F.
Baltayeva M.M.

Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti Kimyo kafedrası talabasi.

Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti Kimyo kafedrası doktoranti

Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch davlat universiteti Kimyo kafedrası professori

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20701619>

ARTICLE INFO

Qabul qilindi: 11-iyun 2026 yil

Ma'qullandi: 13-iyun 2026 yil

Nashr qilindi: 15-iyun 2026 yil

KEY WORDS

Ipak fibroin, sorbsiya, degumming jarayoni, sorbsiya, immobilizatsiya..

ABSTRACT

Ushbu maqolada tabiiy ipak fibroinning turlari, olinishi, tarkibi, tuzilishi, sorbsion xossalari va tibbiyotda, farmasevtikada, analitik maqsadlarda qo'llanilish imkoniyatlari haqida adabiyotlar tahlili qilingan.

Tabiiy ipak dunyoning bir nechta mamlakatlarida yetishtiriladi. Dunyodagi eng yirik ipak ishlab chiqaruvchi davlat Xitoy hisoblanadi. Bundan tashqari, ipak Hindiston, O'zbekiston, Yaponiya, Tailant, Braziliya, Janubiy Koreya va boshqa davlatlarda ham yetishtirib kelmoqda.

Ipak fibroini - ipak tolasining asosiy oqsili bo'lib, odatda ipak qurtlari pillasidan ajratib olinadi. Sanoat miqyosida fibroinning asosiy manbai ipak qurti - Bombyx mori hisoblanadi. Qurtilgan pillada fibroin oqsil miqdorining taxminan 70% - 80% ini, seritsin esa 20% - 30% ini tashkil etadi. Ushbu oqsillardan tashqari, pilla moddasi tarkibida odatda kam miqdordagi qo'shimcha komponentlar: 0,4%-0,8% mum, 1,2% - 1,6% uglevodlar, 0,7% norganik moddalar va 0,2% pigmentlar mavjud bo'ladi [1]. Fibroin ipak tolasining asosiy tarkibiy qismi bo'lib, unga mustahkamlik, elastiklik va ipakka xos yaltiroqlikni beradi.

Bombyx mori ipak qurti tomonidan ishlab chiqariladigan fibroin oqsili so'nggi 10 yilliklarda biomaterialshunoslik, kimyo, tibbiyot va farmasevtika sohasida keng tadqiqot obyektiga aylandi. Buning sababi - fibroinning yuqori mexanik mustahkamligi, biologik parchalanuvchanligi, biomuvofiqligi va yuzasini kimyoviy modifikatsiya qilish imkoniyatidir.

Fibroin asosida gidrogel, plynka, nanoipak, va mikrokapsulalar kabi turli shakldagi materiallar olinishi mumkin. Bu xilma-xillik uni dori vositalarini maqsadli etkazib berish, to'qimalar muhandisligi, yaralarni davolash va fermentlarni immobilizatsiya qilish kabi sohalarda qo'llash imkonini beradi [2].

Ushbu maqolada ipak fibroinning kimyoviy tarkibi, tuzilishi va xossalari, uni olish usullari hamda turli sohalardagi qo'llanilish yo'nalishlari adabiyot ma'lumotlari asosida qisqacha tahlil qilinadi.

2. Ipak fibroinning tarkibi va tuzilishi

2.1. Aminokislota tarkibi

Ipak fibroin - yuqori molekulyar massali oqsil bo'lib, uning polipeptid zanjiri asosan to'rtta aminokislotadan iborat: glitsin (Gly, ~45%), alanin (Ala, ~30%), serin (Ser, ~12%) va tirozin (Tyr, ~5%). Bu to'rtta aminokislota birgalikda fibroin tarkibining 90% dan ortig'ini tashkil etadi. Qolgan qismi glutamin kislotasi, valin, treonin va boshqa aminokislotalar bilan ifodalanadi.

Fibroin zanjirida takrorlanuvchi Gly-Ala-Gly-Ala-Gly-Ser motivi mavjud bo'lib, aynan shu tartibli ketma-ketlik oqsilning kristalli beta-varaq tuzilishini shakllantirishga imkon beradi [3]. Tirozin qoldig'i esa yuzani kimyoviy modifikatsiya qilishda (oksidlanish, diazlash va boshqalar) muhim rol o'ynaydi.

2.2. Birlamchi, ikkilamchi va uchlamchi tuzilish

Fibroinning birlamchi tuzilishi - peptid bog'lar orqali ulangan aminokislota ketma-ketligidan iborat. Uch xil polipeptid zanjiri mavjud: og'ir zanjir (H-chain, ~350 kDa), yengil zanjir (L-chain, ~26 kDa) va P25 glikoprotein (~25 kDa). H- va L-zanjirlar disulfid bog'i orqali bog'langan, P25 esa 6 ta H-L dimeriga nisbatan 1:6 nisbatda birikkan.

Fibroinning ikkilamchi tuzilishida ikkita asosiy shakl ajratiladi: Ipak I (amorf, alfa-spiral) va Ipak II (kristalli, beta-varaq). Erkin holatda fibroin asosan Ipak I shaklida mavjud. Mexanik kuch, metanol, etanol yoki suv bug'i ta'sirida u Ipak II - beta-varaq konfiguratsiyasiga o'tadi. Beta-varaq tuzilishi fibroinning suvda erimasligi va yuqori mexanik mustahkamligini ta'minlaydi.

Uchlamchi va to'rtlamchi tuzilish nuqtai nazaridan fibroin amorf va kristall qatlamlarning navbatlanishidan iborat nanokompozit tuzilishga ega. Kristall qatlamlar (beta-varaqlar) qattiq va mustahkam bloklarni, amorf qatlamlar esa elastik va moslashuvchan segmentlarni tashkil etadi.

3. Ipak fibroinning olinishi

Sof fibroin olish jarayoni bir necha bosqichdan iborat. Birinchi bosqich - degumming (deserisinlash), ya'ni ipak qurti g'umbagidan yoki piladan sertsin oqsilini olib tashlash. Bu odatda 0,02 M natriy karbonat (Na_2CO_3) eritmasida 98-100°C da 20-30 daqiqa qaynatish orqali amalga oshiriladi. Alternativ usul sifatida Marseille sovuni (0,5%) yoki fermentativ degumming (protease fermentlari bilan) ishlatilishi mumkin.

Ikkinchi bosqich - fibroinni konsentrlangan tuz eritmalarida eritish. Degumming qilingan fibroin 9,3 M litiy bromid (LiBr), 50% kalsiy nitrat $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ yoki CaCl_2 /etanol/ H_2O tizimida eritiladi. LiBr eng ko'p qo'llaniladigan tizim bo'lib, 60°C da 4-6 soat aralashirilganda fibroin to'liq eriydi [4].

Uchinchi bosqich - dializ. Olingan fibroin eritmasi suvga nisbatan 3-5 kun davomida dializ qilinadi (MWCO 3500 Da membrana). Bu jarayonda tuz ionlari olib tashlanadi va fibroinning suvli eritmasi (1-8%) olinadi. Keyingi qayta ishlashda bu eritma muzlatib quritish, quydirish yoki elektropurkash kabi usullar orqali turli shakllarga — plyonka, nanoipak, g'ovaksimon yoki zarrachalar ko'rinishiga keltiriladi.

4. Ipak fibroinning sorbsion xossalari

Fibroin polimer zanjirida sorbsiya uchun aktiv bo'lgan funksional guruhlar mavjud: -OH (serin, tirozin), $-\text{NH}_2$ (lizing), $-\text{COOH}$ (aspartik, glutamin kislotasi) va amid guruhlari. Bu

guruhlar metall ionlari, bo'yoq molekulalari, fermentlar va dori moddalari bilan o'zaro ta'sirlashishi mumkin.

Fibroinning sorbsion xossalari bir qator omillarga bog'liq: plyonka yoki g'ovaksimon shaklidagi tuzilish, beta-varaq miqdori (kristallik darajasi), sirt maydon ko'rsatkichi va yuzaning gidrofilli/gidrofob tabiati. Fibroin g'ovaksimon tuzilishi katta sirt maydoniga ega bo'lib (ba'zi hollarda $100-300 \text{ m}^2/\text{g}$ gacha), bu esa uning sorbsion sig'imini oshiradi.

Metallar orasida fibroin Co^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , kabi og'ir metal ionlarini samarali sorbsiyalaydi. Bu jarayon asosan koordinatsion bog'lanish va elektrostatik o'zaro ta'sir orqali amalga oshadi. Sorbsiya samaradorligi pH, temperatura va dastlabki konsentratsiyaga bog'liq bo'lib, aksariyat hollarda pH 5-6 da maksimum qiymatga erishiladi.

Bo'yoqlar (asosan kationli va anionli boyoqlar) va organik ifloslantiruvchi moddalarni fibroin yordamida sorbsiyalash ham tadqiq etilgan. Metilen ko'ki va Kongo qizili singari boyoqlar fibroin g'ovakligi yuqori samaradorlik bilan ushlanishi ko'rsatilgan.

Fibroin yuzasida fermentlarni immobilizatsiya qilish ham keng o'rganilmoqda. Buning uchun ferment molekulalari fibroin matritsasiga adsorpsiya, kovalent bog'lash yoki kapsulalash usullari bilan biriktirilib, ularning qayta ishlatiluvchanlik xossasi oshiriladi. Immobilizatsiyalangan fermentlar biosensor va biokatalizator sifatida qo'llaniladi.

5. Ipak fibroinning qo'llanilish sohalari

5.1. Tibbiyot va to'qimalar muhandisligi

Fibroin biomuvofiqligi va biologik parchalanuvchanligi tufayli to'qimalar muhandisligida keng qo'llaniladi. U suyak, tog'ay, teri va tomirlar regeneratsiyasi uchun tarkibiy elementini tayyorlashda ishlatiladi [5]. Fibroin g'ovaklariga hujayralar (osteoblastlar, xondrotsitlar) ekib, in vitro va in vivo to'qima regeneratsiyasi amalga oshirilgan.

Yaralarni davolash uchun fibroin plyonka va gidrogellari ham samarali qo'llaniladi. Ular namlikni ushlab turadi, antibakterial moddalar bilan boyitilishi mumkin va biodegradatsiya jarayonida zararli mahsulotlar hosil qilmaydi [6].

5.2. Farmasevtika — dori vositalarini etkazib berish

Fibroin mikro va nonazarrachalar shaklida dori moddalarini (proteinlar, peptidlar, kichik molekulalar) maqsadli organlar yoki to'qimalarga etkazib berish uchun ishlatiladi. Beta-varaq tuzilishi tufayli fibroin kapsulalanishi mumkin bo'lgan dori vositasini nazorat ostida chiqarish xossasini ta'minlaydi. Bu tizimlar saraton, diabet va yurak kasalliklarini davolashda sinovdan o'tkazilmoqda [7].

5.3. Biosensorlar va analitik qo'llanmalar

Fibroin yuzasida fermentlarni (glyukoza oksidaza, ureaza, lakkaza) immobilizatsiyalash orqali amperometrik biosensorlar yaratilgan [8]. Bu sensorlar qon zardobidagi glyukoza, mochevina, fenol va boshqa moddalar konsentratsiyasini aniqlashda qo'llaniladi. Fibroinning optik shaffofligi optik biosensordlarda ham ishlatishga imkon beradi.

5.4. Atrof-muhit - og'ir metallar va boyoqlarni sorbsiyalash

Sanoat oqova suvlaridan og'ir metallar (Co^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+}) va sintetik boyoqlarni olib tashlashda fibroin asosidagi biosorbentlar ekologik jihatdan qulay alternativ sifatida o'rganilmoqda. Fibroinning tabiiyligi, arzon narxi va biodegradatsiyalanuvchanligi uni konvensional sorbentlarga (aktivlangan ko'mir, ionit smolalar) nisbatan afzalliklarga ega qiladi.

6. XULOSA

Tabiiy ipak fibroin - noyob kimyoviy tarkibi, ko'p darajali tuzilishi va xilma-xil xossalari bilan zamonaviy biomateriallar sohasida istiqbolli modda hisoblanadi. Uning glitsin, alanin va serin aminokislotalaridan iborat takrorlanuvchi ketma-ketligi beta-varaq kristalli tuzilishini ta'minlaydi va bu fibroinning mexanik, sorbsion hamda biologik xossalarini belgilaydi.

Degumming va LiBr-dializ usullariga asoslangan standart texnologiya yordamida fibroin eritmasi olinib, u plyonka, nanoipak, g'ovaksimon va mikrozaralar ko'rinishiga keltirilishi mumkin. Bu shakl xilma-xilligi fibroinni tibbiyot, farmasevtika, biosensorika va ekologik sorbsiya kabi sohalarda keng qo'llash imkonini beradi.

Keyingi tadqiqotlar fibroinni kimyoviy modifikatsiya, yuzani kimyoviy funksionallashtirish va boshqa biopolimerlar bilan kombinatsiyalash orqali uning xossalarini yanada yaxshilash, analitik sensorlar olishga qaratilgan. Shu bilan birga, O'zbekistonda ipakchilik sanoatining rivojlanganligini hisobga olsak, mahalliy fibroin xom ashyosi asosida ilmiy tadqiqotlarni kengaytirish va amaliy mahsulotlar yaratish muhim ahamiyat kasb etadi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Morin A., Pahlevan M., Alam P. Silk biocomposites: Structure and chemistry // Handbook of Composites from Renewable Materials. – 2017. – C. 189-219.
2. Vepari C., Kaplan D.L. Silk as a Biomaterial // Progress in Polymer Science. – 2007. – Vol. 32. – P. 991–1007.
3. Taddei P., Asakura T., Yao J., Monti P. FT-Raman study of poly(alanine-glycine) peptides as a model for the crystalline domains in Bombyx mori silk fibroin // Biopolymers. – 2004. – Vol. 75. – P. 314–324.
4. Rockwood D.N., Preda R.C., Yücel T., Wang X., Lovett M.L., Kaplan D.L. Materials fabrication from Bombyx mori silk fibroin // Nature Protocols. – 2011. – Vol. 6. – №10. – P. 1612–1631.
5. Altman G.H., Diaz F., Jakuba C., Calabro T., Horan R.L., Chen J., Richmond J., Kaplan D.L. Silk-based biomaterials // Biomaterials. – 2003. – Vol. 24. – №3. – P. 401–416.
6. Gil E.S., Frankowski D.J., Spontak R.J., Hudson S.M. Swelling behavior and morphological evolution of mixed gelatin/silk fibroin hydrogels // Biomacromolecules. – 2005. – Vol. 6. – P. 3079–3087.
7. Kundu S.C. (Ed.). Silk Biomaterials for Tissue Engineering and Regenerative Medicine. – Woodhead Publishing, 2014. – 600 p.
8. Zhang Y.Q. Applications of natural silk protein sericin in biomaterials // Biotechnology Advances. – 2002. – Vol. 20. – P. 91–100.