



Sanjar TILLAYEV,
Kimyo fanlari nomzodi, dotsent
Ergashboy ABDURAXMANOV,
Kimyo fanlari doktori, professo,
Samarqand davlat universiteti, Samarqand, O'zbekiston.
E-mail: sanjar.tillayev83@gmail.com

K.f.d Z.Smanova taqrizi asosida

SO'RILUVCHAN IMPLANT MATERIALLARI XOSSALARIGA TURLI KOMPONENTLAR TA'SIRINI BAHOLASH

Аннотация

Mazkur ishda suyak implantlari uchun qo'llaniladigan poli-L-laktid va gidroksiapatit asosidagi biomateriallar xossalariga turli noorganik hamda organik tabiatli birikmalarning ta'sirini baholash bo'yicha o'tkazilgan tadqiqotlar natijalari keltirilgan. Olingan materiallar zamonaviy tadqiqot usullari (FTIR, XRD, TGA, DTA, SEM va b.q.) vositasida tadqiq etilgan.

Kalit so'zlar: poli-L-laktid, gidroksiapatit, rezorbsiya, implant, suyak to'qimasi.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ НА СВОЙСТВА РЕЗОРБИРУЕМЫХ ИМПЛАНТАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация

В данной работе представлены результаты исследований, проведенных для оценки влияния различных неорганических и органических соединений на свойства биоматериалов на основе поли-L-лактида и гидроксиапатита, используемых для костных имплантатов. Полученные материалы были изучены с использованием современных методов исследования (FTIR, XRD, TGA, DTA, SEM и др.).

Ключевые слова: поли-L-лактid, гидроксиапатит, резорбция, имплантат, костная ткань.

ASSESSING THE INFLUENCE OF VARIOUS COMPONENTS ON THE PROPERTIES OF RESORBABLE IMPLANT MATERIALS

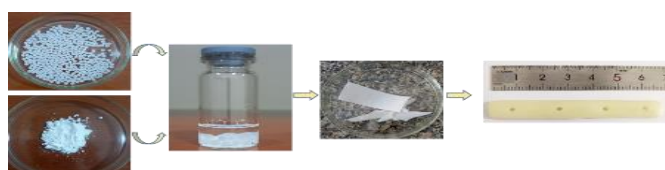
Annotation

This paper presents the results of studies conducted to evaluate the influence of various inorganic and organic compounds on the properties of poly-L-lactide and hydroxyapatite-based biomaterials used for bone implants. The resulting materials were studied using modern research methods (FTIR, XRD, TGA, DTA, SEM, etc.).

Keywords: poly-L-lactide, hydroxyapatite, resorption, implant, bone tissue.

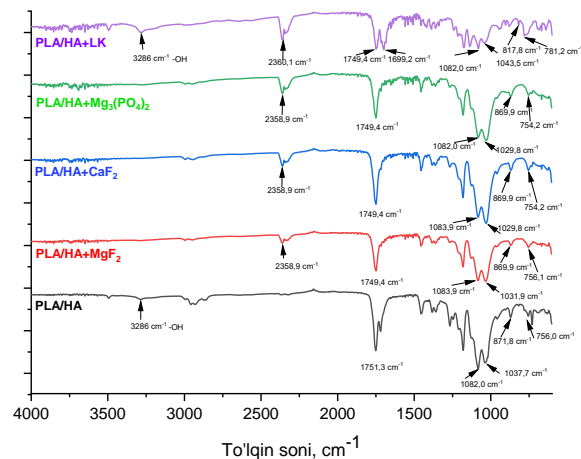
Kirish. Rezorbsiyalanuvchan (so'riluvchan) biomateriallarning xossalari ular tarkibiga kiritilgan turli komponentlar ta'sirida o'zgaradi. Bu o'zgarishlar materiallarning fizik-kimyoviy, mexanik hamda biologik xossalarini yaxshilashga xizmat qiladi. Masalan, polilaktid matritsaga Mg nanozarrachalarining kiritilishidan o'lchamlari 5-8 mkm ga teng g'ovaklikka erishilgan bo'lsa [1], biologik faol shisha (bioshisha) kiritilganda osteokonduktivlikka ta'siri katta bo'lgan, o'lchamlari 300 mkm dan ham katta bo'lgan mikrog'ovakliklarga ega material olish mumkin [2]. Faol bioshisha (Bonelike®) materialning biologik muvofiqligini oshirishi hisobiga uning qo'llanish sohasini kengaytiradi. Bunday materiallardan regenerativ tibbiyotda suyak to'qimasini qayta tiklashda foydalanish imkoniyati paydo bo'ladi [3]. PLA/HA asosidagi materiallar yuzasiga yod bilan modifikatsiyalangan polipiroolidin bilan qoplamalar qilish uning biologik muvofiqligini ta'minlash bilan birga, 100 mkm gacha o'lchamga ega mikrog'ovaklikka erishishga imkon beradi [4]. Bunday materiallar tarkibiga grafen oksidining (GO) kiritilishi biologik muvofiqlikni oshiradi [5]. Shuningdek, kiritilayotgan gidroksiapatit zarrachalarining yuzasini turli modifikatorlar bilan qoplash ham materiallar xossalariga ta'sir etadi. Jumladan, diametri 1,75 mm li filament olishda HA yuzasining stearin kislotasi bilan modifikatsiyalash materiallarning mo'rtligini keskin kamaytiradi. Olingan mahsulotlar esa to'qima muhandisligida qo'llashga yaroqli bo'ladi [6, 7]. Suyak implantlari uchun qo'llaniladigan, so'riluvchan materiallar xossalarini yaxshilash uchun turli noorganik hamda organik birikmalardan foydalanish, kiritilgan komponentlar ta'sirini baholash orqali talab darajasidagi biomateriallar olishga xizmat qiladi [8].

Tajribaviy qism. Materiallar sintezi. Poli-L-laktid, kalsiy gidroksiapatit hamda tirik organizmlarda muhim rol o'ynaydigan turli organik-noorganik komponentlar ishtirokida suyak implantlari uchun qo'llaniladigan biomateriallar sintez qilindi [9]. Qo'shilgan organik-noorganik komponentlar miqdori namuna massasiga nisbatan 5-20% ni tashkil etadi. Keyingi tajribalarda sintez qilingan materiallarning fizik-kimyoviy xossalari tadqiq etildi [10].



1-rasm. Materiallar sintezi sxemasi

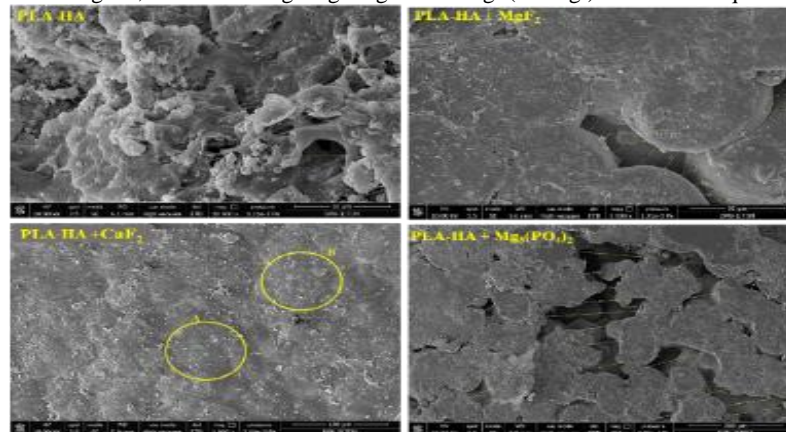
Olingan natijalar va ularning muhokamasi. Materiallarni IQ-spektroskopiya usulda tadqiq etish. Sintez qilingan namunalarning IQ-spektrlari IRAffinity-1S (Shimadzu, Yaponiya) qurilmasida ATR rejimida olindi. Olingan natijalar maxsus dasturda qayta ishlandi. Olingan natijalar quyidagi 2-rasmda keltirilgan.



2-rasm. Namunalarning IQ-spektrlari

IQ-spektrlar qiyosiy tahlili (2-rasm) shuni ko'rsatadiki, sof polilaktid/kalsiy gidroksiapatit (PLA/HA, 80:20) asosli materiallarga turli komponentlarning kiritilishidan ular orasida nokovalent bog'lanishlar yuzaga kelishi kuzatiladi. Polilaktidning karbonil (C=O, ~ 1750 cm^{-1}) hamda murakkab efir (C(O)-O-, ~ 1200 cm^{-1}) bog'lariga tegishli polosalarning kiritilgan moddalar hisobiga quyi sohaga siljiganligi, shuningdek, polosalarning intensivligining pasayishi yuqoridagi fikrni isbotlaydi. C-O valent tebranishlariga xos bo'lgan polosalarning, shuningdek, fosfat guruhining apatit panjarasi tebranishlariga xos ~ 1082 cm^{-1} sohadagi polosalarning o'rni siljiganligi hamda intensivligining o'zgarishi polimer matritsa hamda kalsiy gidroksiapatit orasida ta'sirlar yuz berganligi to'g'risida xulosa qilishga imkon beradi.

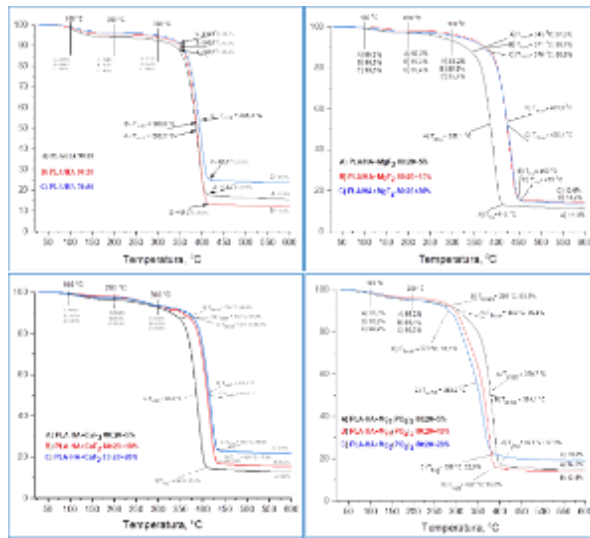
Sintez qilingan materiallarning SEM analizi. Sintez qilingan materiallar namunalarning yuz morfologiyasi va tekstur xarakteristikalarini o'rganish bo'yicha tajribalar TLC detektor bilan jihozlangan FEI mikroskopda (NanoSEM 650 model, FEI Company) o'rganildi. Qurilgan xom ashyo va tayyorlangan biomateriallar namunalari yuzalari ionli purkash orqali yupqa oltin qatlami bilan qoplangan. Shuningdek, namunalarning o'rganilgan sohadagi (sirtidagi) elementlar taqsimoti (EDX) ham o'lgandi.



3-rasm. Materiallarning SEM tasvirlari

SEM analizi natijalardan quyidagi umumiy xulosalarni keltirish o'rinni: 1) PLA/HA asosidagi biomateriallar tarkibiga 20% gacha miqdorda qo'shilgan modifikatorlar komponentlar o'rasida adgezion ta'sirlarning o'zgarishiga olib kelishi kuzatildi. Bunda, CaF_2 , MgF_2 ning qo'shilishi adgezion ta'sirlarga eng yaxshi; LK ning qo'shilishi esa adgezion ta'sirlarga eng yomon ta'sir etishi aniqlandi. 2) Mineral komponentlarning aglomeratsiyasiga qo'shilgan modifikatorlar ta'sir ko'rsatadi. Bunda, $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ ta'sirida aglomeratsiya eng kam, LK tas'irida esa aglomeratsiyaga moyillik eng yuqori ekanligi aniqlandi. 3) Material yuzasida mikrog'ovaklarning soni va o'lchamiga modifikatorlar ta'sir ko'rsatadi. Bunda, $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ ta'sirida mikrog'ovaklar hosil bo'lishi eng yaxshi bo'lib, o'lchamlari 30-250 μm diapazonda bo'lgan tirqishlar, o'rtacha 75 μm o'lchamli g'ovakliklar kuzatildi. Mikrotirqishlar soni va o'lchami eng kam bo'lgan materiallar CaF_2 va LK asosida olindi.

PLA/HA termik xossalari turli komponentlar ta'sirini baholash. Termik analizlar (TGA, DTA) "Shimadzu Corporation DTG-60" qurilmasida olib borildi. Olingan natijalar "Origin_2019b" dasturiy vositasi yordamida tahlil qilindi (4-rasm).



4-rasm. Materiallarning termik xossalari

Materiallarning termik xossalari uning tarkibidagi komponentlar ta'sirini baholash bo'yicha o'tkazilgan tajribalar natijalari asosida umumlashgan xulosalar 2-jadvalda keltirilgan.

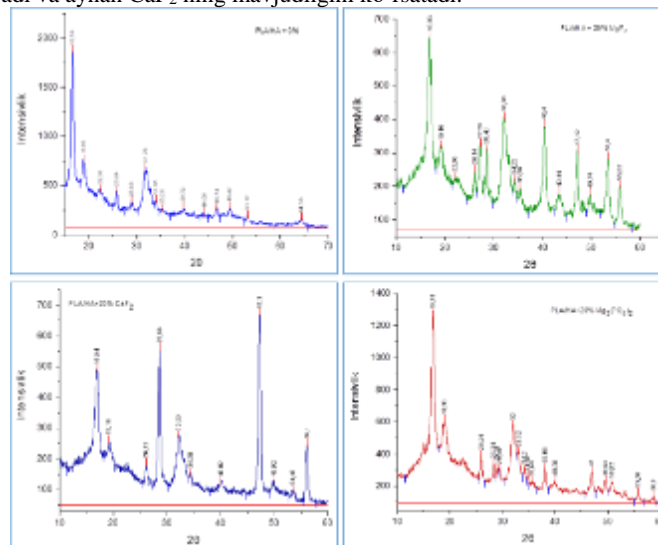
2-jadval. Materiallar termik xossalari qiyosiy tavsivlari

№	Material tarkibi	Parchalanish boshl. temp. °C	Parchalanish tugash temp. °C	Umumiy massa yo'qotish, %	Kul qoldig'i, %
1	PLA/HA (80:20)	349	414	87,8	12,2
2	PLA/HA+MgF ₂	376	453	86,4	13,6
3	PLA/HA+CaF ₂	377	434	78,2	21,8
4	PLA/HA+Mg ₃ (PO ₄) ₂	278	386	81,0	19,0
5	PLA/HA+LK	345	409	95,5	4,5
6	PLA/HA+MIX	347	419	85,4	14,6

2-jadval ma'lumotlari asosida materiallar tarkibiga kalsiy va magniy floridlarning kiritilishi ularning parchalanish boshlanish/tugash temperaturalarini oshirishi, aksincha, magniy fosfat hamda LK-larning kiritilishi esa ushbu qiymatni kamaytirishini ko'rish mumkin. Ayniqsa, magniy fosfat ta'sirida bu pasayish keskin ekanligi aniqlandi. Ushbu komponentlar materiallarning parchalanish darajasi hamda kul qoldig'i miqdoriga ham ta'sir ko'rsatib, kalsiy florid ishtirokida eng kam parchalanish, binobaring eng ko'p kul qoldig'i; limon kislotasi ishtirokida esa eng ko'p parchalanish, mos ravishda eng kam kul qoldig'i hosil bo'lganligi aniqlandi.

Namunalarni kukun rentgen difraksiyasi usulida tadqiq etish. Namunalarning fazaviy holatlari, kristallik darajasi singari parametrlari kukun rentgen difraksiyasi usulida tadqiq etildi (Maxima, XRD-7000, Shimadzu, Yaponiya, CuKα λ=0,1544 nm, 2θ = 10° dan 70° gacha, qadami – 0.02°, tezligi – 2°*min⁻¹, tirqish kengligi – 0.3 nm). Olingan natijalari 5-rasmda keltirilgan.

Olingan natijalar asosida quyidagi xulosalarni keltirish o'rini: 2θ=16,58° hamda 2θ=18,86° sohalarda ko'ringan cho'qqilarning yayilgan ekanligi kristallitlarning o'lchami kichik ekanligidan dalolat. 2θ=25,84° hamda 31,78° sohada ko'ringan cho'qqilar gidroksiapatitning "barmoq izi" sohasi bo'lib, uning uchun xarakterli. Gidroksiapatitga tegishli cho'qqilarning aniq-yaqqol ko'rinishi, material tarkibiga gidroksiapatit aglomeratsiyaga uchramagan holda, yaxshi disperslangan ekanligini bildiradi. Materiallar tarkibiga MgF₂ ning kiritilishidan 2θ=16,96° va 2θ=19,16° sohada polilaktidga xos cho'qqilarning intensivligining toza namunalarga nisbatan pastligining sababi – qo'shilgan mineral komponentlar hisobiga uning ulushi kamayishi bilan izohlanadi. 2θ=27,28° (110); 40,4° (111); 47,12° (210); 53,4° (211) sohalardagi yangi paydo bo'lgan cho'qqilar qo'shilgan MgF₂ ga xos. CaF₂ kiritilgan namunalarda 2θ=28,66° (111), 47,3° (220) sohalardagi kuchli cho'qqilar qo'shilgan CaF₂ ga xos bo'lib, 56,1° (311) muhim cho'qqilar sirasiga kiradi va aynan CaF₂ ning mavjudligini ko'rsatadi.



5-rasm. Materiallarning XRD analizi natijalari

Material tarkibiga kiritilgan magniy fosfatning $2\theta=25,94^\circ$ (gidroksiapatit bilan mos kelgan), $28,34^\circ$ (002), $29,44^\circ$ (002), $33,12^\circ$ (130), $38,06^\circ$ cho'qqilari intensivligi kam ekanligi, binobarin, materiallar kristallik xossalarning oshirishmasligi aniqlandi. Limon kislotasi ta'sirida materiallar namunasida polilaktidga xos $2\theta=16,78^\circ$; $18,2^\circ$; $19,2^\circ$ sohalardagi cho'qqilar ostida amorf sohaning kengaygan bo'shliqlari ko'zga tashlanib, amorf sohalarning ulushini oshirgan degan xulosa chiqadi.

Materiallarning kristallik darajalarini hisoblash. Kukur rentgen difraksiyasi natijalari asosida namunalarning kristallik darajalari ham hisoblandi. Bunda, umumiy kristallik maydon yuzasini jami (kristall+amorf) maydonga nisbati sifatida ifodalandi (3-jadval). Kristallik darajasini hisoblashda ikki turli materiallar namunalari: 1) sintezdan so'ng 2) ekstruziyadan so'ng tekshirildi.

3-jadval. Namunalarning kristallik darajasi

№	Namunalar tarkibi	Massa nisbatlari, %	Kristallik darajasi, %	
			Sintezdan so'ng	Ekstruziyadan so'ng
1	PLA/HA	80:20 + 00%	58.4	76.4
2	PLA/HA+MgF ₂	80:20+20%	60.6	90.5
3	PLA/HA+CaF ₂	80:20+20%	48.4	69.1
4	PLA/HA+Mg ₃ (PO ₄) ₂	80:20+20%	53.2	57.3
5	PLA/HA+LK	80:20+20%	53.7	60.1
6	PLA/HA+MIX	80:20+20%	54,4	73,6

Olingan natijalardan toza PLA/HA asosidagi materiallarda ular tarkibiga kiritilgan gidroksiapatitning ulushi ortishi bilan kristallik darajasi ortib borishi aniqlandi. Sintez qilingan hamda ekstruziya usulida ishlov berilgan namunalarning kristallik darajalarini qiyosiy o'rganish natijasida ekstruziyadan keyin barcha holatlarda namunalar kristallik darajasi yuqori bo'lishligi aniqlandi.

Shuningdek, magniy fluorid modifikator sifatida qo'llanilgan namunalarning kristallik darajasi yuqori - 60,6% ekanligi, ekstruziyadan so'ng bu qiymat yanada ortishi va 90,5% ga yetishi aniqlandi. Kristallik darajasi eng past bo'lgan namunalar magniy fosfat va limon kislotalar modifikator sifatida qo'llanilgan materiallar ekanligi aniqlandi.

Namunalarning mikroqattiqligini Vikkers bo'yicha aniqlash. Namunalarning mexanik xossalari, xususan mikroqattiqligini Vikkers usulida aniqlash "KASON-59-HVS" (Xitoy) qurilmasida amalga oshirildi.

Materiallarning mikroqattiqligini aniqlashda ikki turdagi: 1) sintezdan so'ng 2) ekstruziyadan so'ng namunalar tekshirildi. Dastlab, eritmalardan bug'latish yo'li bilan olingan materiallarning qattiqligi o'rganildi. Bunda, olingan materiallarning mikroqattiqligi 13.0-17.6 HV orasida bo'lganligi kuzatildi. Bu qiymat odamning yoshiga, suyakning turiga bog'liq ravishda o'zgarib turuvchi qattiqlik diapazoni 28-50 HV ga nisbatan ancha pastligini ko'rish mumkin. Shu sababli namunalarning kristallik darajasini, binobarin qattiqligini oshirish, shuningdek, ularga shakl berish jarayonini amalga oshirish uchun ekstruziya qilindi. Ekstruziya natijasida namunalarning mikroqattiqligi 27,3-35,5 HV gacha oshganligini ko'rish mumkin.

Xulosalar. O'tkazilgan tajribalar asosida suyak implantlari uchun qo'llaniladigan, poli-L-sut kislotasi hamda gidroksiapatit asosidagi biomateriallar tarkibiga turli noorganik hamda organik tabiiy komponentlarning kiritilishi ularning xossalari ta'sir ko'rsatadi. Masalan, CaF₂ va MgF₂ namunalarning kristalligini oshirishi hisobiga qattiqlikni yaxshilaydi. Mg₃(PO₄)₂ esa material yuzasida mikroqovakliklar hosil qilishi hisobiga ularning osteokonduktivligini yaxshilaydi. Limon kislotasi gidroksiapatitning dispersiyasi hamda materiallarning rezorbsiya xossalari yaxshilashga xizmat qiladi.

ADABIYOTLAR

1. Fawad Ali e.c.t. Mg-Doped PLA Composite as a Potential Material for Tissue Engineering - Synthesis, Characterization, and Additive Manufacturing // *Materials* 2023, 16, 6506. <https://doi.org/10.3390/ma16196506>
2. Milda Alksne e.c.t. In vitro comparison of 3D printed polylactic acid/hydroxyapatite and polylactic acid/bioglass composite scaffolds: Insights into materials for bone regeneration// *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials* 104 (2020) 103641// <https://doi.org/10.1016/j.jmbm.2020.103641>
3. Daniel Santos e.c.t. Incorporation of glass-reinforced hydroxyapatite microparticles into poly(lactic acid) electrospun fibre mats for biomedical applications // *Materials Science and Engineering: C*, Volume 75, 2017, Pages 1184-1190, <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.03.007>
4. María G. Flores-Sánchez e.c.t. Scaffolds of polylactic acid/hydroxyapatite coated by plasma with polypyrrole-iodine for the generation of neo-tissue-bone in vivo: Study in rabbit // *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, DOI:10.1080/00914037.2017.1342249
5. Ma H B, Su W X, Tai Z X, et al. Preparation and cytocompatibility of polylactic acid/hydroxyapatite/graphene oxide nanocomposite fibrous membrane. *Chin Sci Bull*, 2012, 57: 3051-3058, doi: 10.1007/s11434-012-5336-3
6. Júlia Cé de Andrade et al. Effect of stearic acid on the mechanical and rheological properties of PLA/HA biocomposites // *Materials Today Communications*, Volume 35, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.106357>
7. Amedeo Ungolo and others. Sr²⁺ hydroxyapatite and polylactic acid nanoparticles doped antimicrobial bioactive chitosan-based coating for medical device osteointegration // *International Journal of Biological Macromolecules*, 2026, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2026.150411>
8. Aezhisai Vallavi M. S., Mugilan. T., Sridhar. N. Exploring the material and mechanical characteristics of 3D printed composites utilizing nSiO₂-particulate-reinforced PLA/HDPE filaments with potential applications in the medical field // *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, Volume 30, Issue 2, 2025, <https://doi.org/10.1080/1023666X.2024.2444320>
9. Muzaffarova B., Eranov Sh., Tillayev S. Resorbable Bone-Fixation Materials: Synthesis, Physical-Chemical and Biological Properties // *Avicenna Journal of Medical Biotechnology*, 2025, Volume (17), issue (3) P. 196-207. <https://www.doi.org/10.18502/ajmb.v17i3.19278>
10. Muzaffarova B.B., Tillayev S.U. Rezorbsiyalanuvchi biotibbiy materiallar olinishi, fizik-kimyoviy va biologik xossalari // *Вестник КГУ им. Бердаха*. -2024, № 4 (67) 2024 ISSN 2010-9075. 41-45 bet