

UDK 766.9.691.696.

ANTIOXIDANTS' MECHANISM OF NEUTRALIZING FREE RADICALS IN
THE ORGANISM

¹Zarnigor Quvondiqova.

Shahrisabz davlat pedagogika instituti talabasi

E-mail zarnigorquvondiqova0@gmail.com

Tel: +9989417409

Kimyo fanlari doktori, Kamolov L.S taqrizi asosida

²Dilnoza Shavkatova,

Shahrasabz davlat pedagogika instituti

Tabiiy fanlar kafedrasi v.b.dotsenti

E-mail: shavkatova89dilnoza@mail.ru

tel: 91 949 10 30

Kimyo fanlari doktori, Kamolov L.S taqrizi asosida

Abstract

Antioxidants reduce the reactivity of free radicals in the body through hydrogen atom transfer (HAT) or single electron transfer (SET), which prevents damage to lipids, proteins, and DNA. Enzymatic systems (SOD, catalase, glutathione peroxidase) decompose superoxide and peroxides, and chelate metal ions to inhibit the Fenton reaction, reducing the formation of hydroxyl radicals. The mutual regeneration of antioxidants and the coordinated operation of these mechanisms maintain the body's redox homeostasis and reduce the risk of oxidative damage.

Key words: Antioxidants, free radicals, HAT, SET, SOD, catalase, glutathione peroxidase, metal chelation, redox homeostasis.

МЕХАНИЗМ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ СВОБОДНЫХ РАДИКАЛОВ В
ОРГАНИЗМЕ С ПОМОЩЬЮ АНТИОКСИДАНТОВ

Аннотация

Антиоксиданты снижают реактивность свободных радикалов в организме посредством переноса атомов водорода (НАТ) или переноса одного электрона (SET), что предотвращает повреждение липидов, белков и ДНК. Ферментативные системы (СОД, каталаза, глутатионпероксидаза) расщепляют

супероксид и пероксиды, а также хелатируют ионы металлов, ингибируя реакцию Фентона и уменьшая образование гидроксильных радикалов. Взаимная регенерация антиоксидантов и скоординированная работа этих механизмов поддерживают окислительно-восстановительный гомеостаз организма и снижают риск окислительного повреждения.

Ключевые слова: Антиоксиданты, свободные радикалы, HAT, SET, SOD, каталаза, глутатионпероксидаза, хелатирование металлов, окислительно-восстановительный гомеостаз.

ANTIOKSIDANTLARNING ORGANIZMDAGI ERKIN RADIKALLARNI NEYTRALLASH MEXANIZMI

Annotatsiya

Antioksidantlar organizmdagi erkin radikallarning reaktivligini vodorod atomini oʻtkazish (HAT) yoki yagona elektron uzatish (SET) orqali pasaytiradi, bu lipid, oqsil va DNK ga zarar yetishining oldini oladi. Enzimatik sistema (SOD, katalaza, glutation peroksidaza) superoksid va peroksidlarni parchalaydi, metall ionlarini chelatlash Fenton-reaksiyasini toʻxtatib gidroksil radikal paydo boʻlishini kamaytiradi. Antioksidantlarning bir-birini regeneratsiya qilishi va ushbu mexanizmlarning uygʻun ishlashi organizm redoks homeostazini saqlaydi va oksidativ shikastlanish xavfini kamaytiradi.

Kalit soʻzlar: Antioksidantlar, erkin radikallar, HAT, SET, SOD, katalaza, glutation peroksidaza, metall chelatlash, redoks homeostaz.

Kirish. Organizmning hayotiy jarayonlari kislorodning suvga toʻrt elektronli qaytarilishining oraliq mahsulotlari boʻlgan radikal va radikal boʻlmagan kelib chiqishga ega reaktiv kislorod metabolitlarining (ROS) shakllanishi bilan uzviy bogʻliq. ROS ikkita asosiy jarayonda ishtirok etadi: bir tomondan, organizmning himoya mexanizmlarini amalga oshirish; boshqa tomondan, ROS va ularning ikkilamchi mahsulotlarining haddan tashqari shakllanishi oksidlovchi stress deb nomlanuvchi holatga olib keladi. Organizmda oksidlovchi stressning rivojlanishi endogen va ekzogen kelib chiqishga ega antioksidant xususiyatlarga ega moddalar tomonidan oldini olinadi. Bugungi kunda tibbiyot, biokimyo, biofizika, farmatsiya yoki oziq-ovqat texnologiyasining erkin radikal oksidlanish va antioksidant taʼsirini oʻrganmaydigan yagona sohasini topish qiyin. Moddalarning antioksidant xususiyatlarini oʻrganish fanlararo xususiyatga ega va inson salomatligini yaxshilash va umr koʻrish davomiyligini oshirishga qaratilgan. Ushbu sohadagi dolzarb

yo'nalishlardan biri antioksidant va antiradikal qobiliyat/faoliyatning integral parametrlarini aniqlashga yondashuvlarni ishlab chiqishdir, chunki organizmning antioksidant tizimining samaradorligi ma'lum bir birikmaning tarkibi bilan bog'liq bo'lmasligi mumkin, balki butun tizimning xususiyatlarini aks ettiradi.

-Mavzuga oid adabiyotlar tahlili (Literature review).

Antioksidant/antiradikal sig'im/faoliyatning integral parametrlarini aniqlash metodologiyalari asosan oksidlovchi modellardan (i) foydalanishga asoslangan bo'lib, ular barqaror radikallar va radikal hosil qiluvchi tizimlardan foydalanadigan modellarga bo'linishi mumkin yoki (ii) o'rganilayotgan namunaning antioksidanti bilan o'zaro ta'sirlashganda tizimning ba'zi fizik-kimyoviy xususiyatlarini o'zgartiradigan radikal bo'lmagan kimyoviy reagentlarni o'z ichiga oladi.

Umuman olganda, antioksidant/antiradikal sig'imning integral parametrlarini aniqlash usullarini ishlab chiqishda e'tiborga olinishi kerak bo'lgan va oxir-oqibat ularni qo'llashning kengligini belgilaydigan quyidagi asosiy talablarni shakllantirish mumkin:

1. Tanlangan oksidlovchi modelning haqiqiyliigi;
2. O'lchov sharoitlarining, jumladan, ishlatiladigan reagentlar, pH va boshqalarning fiziologik mosligi;
3. Organizmda antioksidant ta'sir mexanizmlaridan birini amalga oshirish;
4. Usullarning analitik xususiyatlarining sifati (amalga oshirish qulayligi, asboblarning mavjudligi, takrorlanuvchanlik, sezgirlik, tezkor o'lchash, loyqa va rangli namunalarni o'z ichiga olgan keng turdagi namunalarni tahlil qilish qobiliyati).

Antioksidant xususiyatlarini kompleks baholashning mavjud usullari kamdankam hollarda bu talablarning barchasiga javob beradi. Shunday qilib, ishonchli va aniq natijalarni beradigan usullarga ehtiyoj hali ham hal qilinmagan va antioksidant/antiradikal sig'im/faoliyatning integral parametrlarini aniqlashning yangi yondashuvlarini ishlab chiqish hali ham talabga ega.

Ushbu ishning maqsadi moddalarning antioksidant va antiradikal xususiyatlarini kompleks baholash uchun potentsiometrik usullar nazariyasi va amaliyotini rivojlantirish va organizmdagi antioksidantlarning kimyoviy ta'sir mexanizmlariga asoslangan turli moddalarning antioksidant/antiradikal sig'imini miqdoriy aniqlash uchun yangi metodologik yondashuvlarni ishlab chiqishdi.

Ushbu maqsadga erishish quyidagi vazifalarni hal qilishni talab qiladi:

- moddalarning antioksidant/antiradikal xususiyatlarini integral baholashda potentsiometriyadan foydalanishning umumiy tamoyillari va nazariy va amaliy yondashuvlarini shakllantirish;

- AO bilan elektron va elektron-proton o'tkazish reaksiyalarida oksidlovchi agent modelini tanlashni nazariy jihatdan asoslash va eksperimental ravishda tasdiqlash;
- AO dan antioksidant va antiradikal sig'im (AOE va APE) parametrlari ko'rinishidagi model oksidlovchi agentga elektron va elektron-proton o'tkazish reaksiyalari natijalarini miqdoriy baholash uchun potentsiometriyadan foydalanishni asoslash va AO tuzilishi va AOE/APE o'rtasidagi bog'liqlikni aniqlash;
- individual moddalar va ko'pkomponentli namunalarning AOE va APE ni aniqlashning tezkor usullarini ishlab chiqish;
- turli namunalarning (dorilar, o'simlik ekstraktlari, oziq-ovqat mahsulotlari, biologik suyuqliklar) integral AOE va APE parametrlarini aniqlash usullarini ishlab chiqish va asosiy analitik va metrologik xususiyatlarni hisoblash;
- analitik signallarni yozib olishning turli fizik-kimyoviy tamoyillariga asoslangan yangi va o'rnatilgan usullardan foydalangan holda antioksidant xususiyatlarining korrelyatsion tadqiqotlarini o'tkazish.

Organizmdagi antioksidant ta'sir mexanizmlariga asoslangan moddalarning antioksidant xususiyatlarini kompleks o'rganish metodologiyasi.

Antioksidant/antiradikal sig'imning integral parametrlarini aniqlash uchun mos ravishda elektron va vodorod atomi o'tkazish reaksiyalarida potentsiometriya va $K_3[Fe(CN)_6]$ va AAPH model oksidlovchilarini tanlashni asoslash.

Antioksidantlarning tanlangan oksidlovchilar bilan o'zaro ta'sirini potentsiometriya tadqiqoti natijalari, elektron o'tkazish reaksiyalarida stexiometrik koeffitsientlarni va elektron-proton o'tkazish reaksiyalarida inhibitsion koeffitsientlarini aniqlash.

Oksidlangan komponentning individual antioksidantlar bilan reaksiyasi paytida $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$ tizimining oksidlanish-qaytarilish potensialining o'zgarish naqshlari va bu o'zaro ta'sirni potentsiometrik ravishda o'lchangan AOE parametri sifatida miqdoriy baholash. Fiziologik sharoitlarga yaqin sharoitlarda AAPH azo inisiatorining termal parchalanish modelidan foydalangan holda peroksil radikal generatsiyasi kinetikasini potentsiometrik o'rganish natijalari, shu jumladan generatsiya tezligi va tezlik konstantasining miqdoriy bahosi.

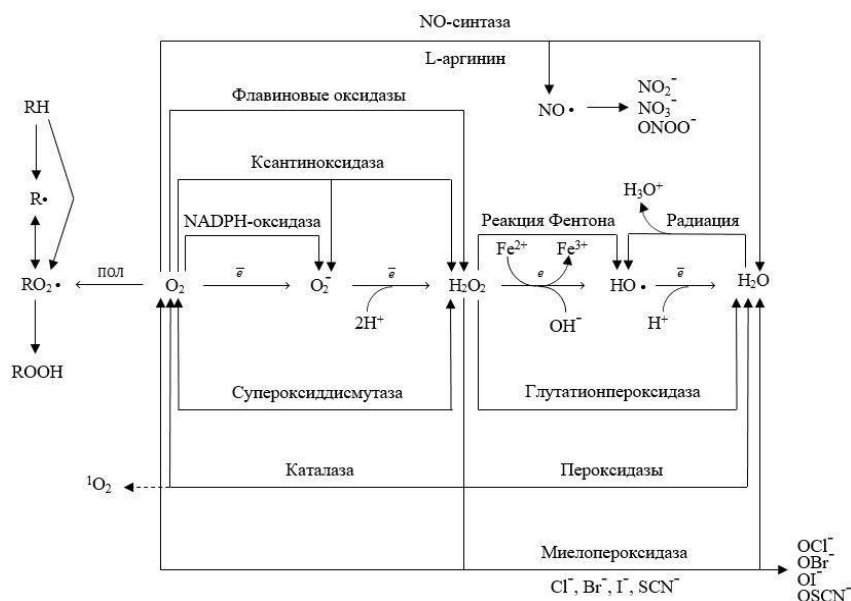
AKM organizmdagi ikkita global jarayonda ishtirok etadi. Bir tomondan, AKM ning asosiy funktsiyalaridan biri tananing himoya reaksiyalarini amalga oshirishdir. Faollashtirilgan kislorod metabolitlari fagotsitozning zarur elementi bo'lib, shikastlangan, qarigan yoki immunologik jihatdan mos kelmaydigan hujayralarni, shuningdek, viruslar va bakteriyalar ta'sirlangan xavfli hujayralar va hujayralarni yo'q qiladi. Bundan tashqari, AKM bioregulyatsion jarayonlarda signal o'tkazgichlari va hujayralararo mediatorlar vazifasini bajaradi.

Boshqa tomondan, AKM va ularning ikkilamchi mahsulotlarining haddan tashqari shakllanishi "oksidlovchi stress" deb ataladigan holatga olib keladi. Oksidlovchi stress (OS) yallig'lanish, ateroskleroz, kanserogenez, ishemik to'qimalarning shikastlanishi, diabet, bronxopulmoner va neyrodegenerativ patologiyalar, reproduktiv disfunktsiya va boshqalar kabi ko'plab kasalliklarning paydo bo'lishi va rivojlanishida muhim omil hisoblanadi. Hozirgi vaqtda AKM ning haddan tashqari ko'p hosil bo'lishi natijasida kelib chiqadigan 100 dan ortiq patologiya ma'lum.

- **Tadqiqot metodologiyasi (Research Methodology).** Turli obyektlarning antioksidant xususiyatlarini o'rganishga qiziqish tirik organizmlar tomonidan molekulyar kislorod iste'moli bilan bog'liq bir qator omillar bilan bog'liq. Odamlar tomonidan nafas olayotgan molekulyar kislorodning taxminan 90% metabolik yo'lda ishtirok etadi, bunda ozuqa moddalarining oksidlanishi paytida hosil bo'lgan energiya hujayra mitoxondriyalarida adenozin trifosfat (ATP) sifatida saqlanadi. Oksidlovchi fosforillanish deb ataladigan bu jarayon organizmning energiya ta'minotini ta'minlaydi. Bundan tashqari, ushbu muhim jarayon bilan bir qatorda, barcha

tirik organizmlar molekulyar kisloroddan faollashtirilgan kislorod metabolitlarini (AOM) hosil qiluvchi reaksiyalarga uchraydi, masalan, $O_2^{\bullet-}$, HO^{\bullet} , RO^{\bullet} , H_2O_2 , ROO^{\bullet} , 1O_2 , OCl^- , NO^{\bullet} , $ONOO^-$, NO_2^{\bullet} [1]. Evolyutsiya jarayonida barcha tirik organizmlar molekulyar kislorodning bir, ikki va to'rt elektronli qaytarilish reaksiyalarida ishtirok etadigan butun fermentativ tizimlarni rivojlantirdilar (1-rasm) [2, 3].

Helmut Esterbauerning [4] ma'lumotlariga ko'ra, inson 70 yillik umri davomida 17 000 kg molekulyar kislorod iste'mol qiladi, bu vaqt ichida 800 dan 1700 kg gacha faollashtirilgan kislorod metabolitlari (AOM) ishlab chiqariladi.



1-rasm. Odamlar va hayvonlar organizmida ACM ning fermentativ ravishda hosil bo'lishining asosiy yo'llari

Hosil bo'lgan AOMlar ham radikal, ham radikal bo'lmagan moddalarni o'z ichiga oladi. AOMlarning inson organizmidagi rolini o'rganayotgan tadqiqotchilarning aksariyati asosan erkin radikallarning hosil bo'lishini ko'rib chiqadilar. Biroq, radikal bo'lmagan AOMlar yuqori reaktiv oksidlovchilar bo'lib, radikallarni hosil qilishga qodir, shuning uchun radikal bo'lmagan metabolitlar haqida ma'lumot ham juda muhimdir. "Faollashtirilgan kislorod metabolitlari" atamasi radikal va radikal bo'lmagan kelib chiqishi bo'lgan 22 ta birikmani samarali ravishda o'z ichiga oladi.[1].

1-jadval

Biologik substratlarda ACM ning umr ko'rish davomiyligi va diffuziya radiusining xarakterli qiymatlari

ACM shakli	Umr bo'yi, c	Diffuziya radiusi, μm
O ₂ • - superoksid anion radikali	10 ⁻⁶	0,3
HO• - gidroksil radikali	10 ⁻⁹	< 0,01
RO• - alkoksil radikali	10 ⁻⁶	R ga bog'liq
H ₂ O ₂ - vodorod peroksid	Katalaza va glutation peroksidaza mavjudligiga bog'liq	
ROO• - peroksid radikali	10 ⁻² ÷ 10 ¹	R ga bog'liq
¹ O ₂ – yakka kislorod	10 ⁻⁶	0,3
HO ₂ • - pergidroksil radikal	10 ⁻³	10
NO• - azot oksidi	10 ⁻¹	100
ONOO ⁻ - peroksinitril	2	600
NO ₂ ⁻ - azot dioksidi	< 10 ⁻⁵	0,2
OCl- OI- - gipohalogen kislotalar OBr-	Substratga bog'liq	

OCN-		
------	--	--

AKM organizmdagi ikkita global jarayonda ishtirok etadi. Bir tomondan, AKM ning asosiy funksiyalaridan biri tananing himoya reaksiyalarini amalga oshirishdir [5]. Faollashtirilgan kislorod metabolitlari fagotsitozning zarur elementi bo'lib, shikastlangan, qarigan yoki immunologik jihatdan mos kelmaydigan hujayralarni, shuningdek, viruslar va bakteriyalar ta'sirlangan xavfli hujayralar va hujayralarni yo'q qiladi [6]. Bundan tashqari, AKM bioregulyatsion jarayonlarda signal o'tkazgichlari va hujayralararo mediatorlar vazifasini bajaradi. [6].

2-jadval

Tirik tizimlardagi ACM: shakllanish mexanizmi va biologik ta'sir.

AKM shakli	Shakllanish mexanizmi	Biologik ta'sir
1	2	3
O ₂ •-	Ksantin oksidaza, fagotsitlarning NADPH oksidazasi, aminokislota oksidazalari tomonidan O ₂ ning bir elektronli qaytarilishi; mitoxondriya va mikrosomalarning transport zanjirida hosil bo'lishi; oksigemoglobinaning oksidlanishi paytida [3, 12-14]	Limfotsitlar proliferatsiyasining kuchayishi; oqsil sintezining inhibatsiyasi; lipid peroksidlanishining induksiyasi; ferritindan temirning ajralib chiqishi; eritrotsitlar membranalarining yo'q qilinishi; HO•, HO ₂ •, H ₂ O ₂ , 1O ₂ hosil bo'lishi; sitoxrom C ning tiklanishi; hujayra ichidagi regulyatsiya; vazomotor ta'sir [15-19]
HO ₂ •	Kislotali muhitda (pK=4.8) O ₂ •- ga H ⁺ qo'shilishi; H ₂ O ₂ ning organik radikallar bilan reaksiyasi; qaytarilgan flavinlarning O ₂ bilan reaksiyalarida oraliq mahsulot [20,21]	Lipid peroksidlanishini keltirib chiqaradi, H ₂ O ₂ ga (organik molekulalar bilan o'zaro ta'sirlashganda) yoki O ₂ •- ga aylanadi; sitotoksik ta'sir ko'rsatadi [14,16,21]
H ₂ O ₂	Ksantin oksidaza va flavin oksidazalar tomonidan O ₂ ning ikki elektronli qaytarilishi; SOD	Sitotoksiklik; atrof-muhitning mahalliy kislotalanishi; vazokonstriktor ta'sir; Fenton tipidagi reaksiyalarda HO• hosil

bilan yoki SODsiz O2-dismutatsiya reaksiyasi [22,23]	bo'lishi; limfotsitlar proliferatsiyasining inhibatsiyasi [13, 24-27]
--	---

Boshqa tomondan, AKM va ularning ikkilamchi mahsulotlarining haddan tashqari shakllanishi "oksidlovchi stress" deb ataladigan holatga olib keladi. Oksidlovchi stress (OS) yallig'lanish, ateroskleroz, kanserogenez, ishemik to'qimalarning shikastlanishi, diabet, bronxopulmoner va neyrodegenerativ patologiyalar, reproduktiv disfunktsiya va boshqalar kabi ko'plab kasalliklarning paydo bo'lishi va rivojlanishida muhim omil hisoblanadi [7]. Hozirgi vaqtda AKM ning haddan tashqari ko'p hosil bo'lishi natijasida kelib chiqadigan 100 dan ortiq patologiya ma'lum [1]. OS rivojlanishiga olib kelishi mumkin bo'lgan omillarning xilma-xilligiga qaramay, ularning barchasi tirik materiyaning strukturaviy va funktsional tashkil etilishining asosini tashkil etuvchi makromolekulalarning (nuklein kislotalari, oqsillar, lipidlar va uglevodlar) oksidlovchi modifikatsiyasini o'z ichiga oladi [8].

ACMLar qisqa umr ko'rish muddati va nisbatan kichik ta'sir radiusi bilan tavsiflanadi (1-jadval); shunga qaramay, ular turli metabolik jarayonlarda ulkan rol o'ynaydi.

-Tahlil va natijalar (Analysis and results). ACMLar qisqa umr ko'rish muddati va nisbatan kichik ta'sir radiusi bilan tavsiflanadi (1-jadval); shunga qaramay, ular turli metabolik jarayonlarda ulkan rol o'ynaydi.

2-jadvalda asosiy ACMLarning shakllanish mexanizmlari va ularning biologik ta'siri keltirilgan.

Ushbu ma'lumotlar ACMLarning turli yo'llar bilan shakllanishi mumkinligini va ularning haddan tashqari ko'p hosil bo'lishi tirik organizmlarga salbiy ta'sir ko'rsatishini ko'rsatadi. Vaziyat deyarli barcha ACMLarning qisqa umr ko'rish muddati bilan murakkablashadi, bu esa biologik suyuqliklar, hujayralar va to'qimalarda ACM darajasini kuzatishni ancha murakkablashtiradi va ba'zi hollarda imkonsiz qiladi. Olib borilgan tahlillar shuni ko'rsatdiki, antioksidantlar organizmdagi erkin radikallarni neytrallashtirishda asosan elektron uzatish (SET) va vodorod atomini berish (HAT) mexanizmlari orqali ta'sir ko'rsatadi. Antioksidantlar nafaqat mavjud radikallarni neytrallaydi, balki o'zgaruvchan valentli metall ionlarini bog'lash (xelatlash) orqali yangi radikallar hosil bo'lishining oldini oladi. Bu jarayon hujayra membranalarini oksidlovchi stressdan himoya qilishda asosiy omil bo'lib xizmat qiladi.

Xulosa (Conclusion). Antioksidantlar organizmda hosil bo'ladigan erkin radikallar va aktiv kislorod metabolitlarini neytrallashtirish orqali hujayralarni oksidlovchi shikastlanishdan himoya qiladi. Ularning asosiy ta'sir mexanizmlari elektron yoki vodorod atomi o'tkazish, zanjirli oksidlanish reaksiyalarini to'xtatish hamda metall

ionlarini bog'lash jarayonlariga asoslanadi. Bu mexanizmlar hujayra membranalari, oqsillar va DNKning strukturaviy yaxlitligini saqlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Oksidlovchi stressning ko'plab patologik holatlar rivojlanishidagi roli antioksidant tizimni chuqur o'rganish zarurligini ko'rsatadi. Antioksidant/antiradikal sig'imni integral baholash usullarini ishlab chiqish, ayniqsa potensiometrlik yondashuvlar asosida, moddalarning haqiqiy biologik sharoitdagi faolligini aniqroq baholash imkonini beradi. Model oksidlovchi tizimlar yordamida elektron va elektron-proton o'tkazish reaksiyalarini miqdoriy tahlil qilish antioksidant samaradorlikni obyektiv ko'rsatkichlar orqali aniqlashga xizmat qiladi.

Umuman olganda, antioksidantlarning ta'sir mexanizmlarini chuqur o'rganish va ularning integral ko'rsatkichlarini aniqlash usullarini takomillashtirish biokimyo, farmatsiya va tibbiyot sohalarida sog'liqni saqlash, profilaktika va terapevtik strategiyalarni rivojlantirishda muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega.

ADABIYOTLAR

1. Babior, B.M. Biologik himoya mexanizmlari. Potensial bakteritsid agenti bo'lgan superoksidning leykotsitlar tomonidan ishlab chiqarilishi [Matn] / B.M. Babior, R. S. Kipnes, J. T. Kurnutte // Klinik tekshiruvlar jurnali. – 1973 yil. – V. 52. – No 3. – P.
2. Kulinskiy, V.I. Reaktiv kislorod turlari va makromolekulalarning oksidlovchi modifikatsiyasi: foyda, zarar va himoya [Matn] / V.I. Kulinskiy // Soros ta'lim jurnali. – 1999. – T. 1. – No 2. – B. 2-7.
3. Zenkov, N.K. Oksidlanish stressi [Matn] / N.K. Zenkov, V.Z. Lankin, E.B. Menshchikova - M.: MAIK "Fan / Interperiodiklar". – 2001. – 343 b.
4. Zenkov, N.K. Biologik tizimlarda faollashtirilgan kislorod metabolitlari [Matn] / N.K. Zenkov, E.B. Menshchikova // Zamonaviy biologiyaning yutuqlari. – 1993. – T. 113. – No 3. – B. 286-296.
5. Wendel, A. Reaktiv kislorodga qarshi ta'sir qiluvchi fermentlar [Matn] / A. Wendel // Fermentlar: asboblari va maqsadlar. - Bazel: Karger. – 1988. – B. 161–167.
6. Esterbauer, H. LDL oksidlovchi modifikatsiyasida lipid peroksidatsiyasi va antioksidantlarning roli [Matn] / H. Esterbauer, J. Gebicki, H. Puhl, G. Yurgens // Erkin radikal biologiya va tibbiyot. – 1992. – V. 13. – B. 341–390.
7. Berlin A.A. Polimerniye kompozitsionniye material: struktura, svoystva, texnologiya. [Polymer composite materials: structure, properties, technology] textbook; SPb.: Profession. 2009. 560 p
8. Ginzburg B.M., Tochilnikov D.G., Baxareva V.YE., Anisimov A.V., Kireyenko O.F. Polimerniye material dlya podshipnikov skoljeniya, smazivayemix vodoy. [Polymeric

materials for plain bearings lubricated by water]. Review // Journal of Applied Chemistry. 2006. V.79. No. 5. P.705-716

9. Yamamoto Y., and Takashima T. Friction and Wear of Water Lubricated PEEK and PPS Sliding Contacts // Wear. 2002. Vol.253. No.7-8. P.820—826.

10. Zachernyuk B.A., Savin E.D., Nedel'Kin V.I. Recent advances in the chemistry of sulfur-containing poly(arylenes) // Polymer Science. Series C. 2002. Vol.44. No.2.Pp.168–184.