Conference on Social Sciences and Humanities Research (CSSHR)
volume. 3 № 5
CSSHR
EYIB
EDUCATIONAL YIELD INSIGHTS & BREAKTHROUGHS
ISSN: 3060-4648



O‘SIMLIK MANBALI POLIFENOLLARNING ANTIOKSIDANT POTENSIALI: ZAMONAVIY TADQIQOTLAR TAHLILI

Turdieva Odinaxon Mamirovna — *Qo‘qon davlat universiteti dotsenti*

Annotatsiya. Maqolada o‘simlik manbali polifenollarning antioksidant potensiali molekulyar tuzilish, kimyoviy reaktivlik, oziq-ovqat matritsasi, bioo‘zlashtirilish, ichak mikrobiotasi, redoks-signalizatsiya va insondagi klinik biomarkerlar o‘rtasidagi bog‘lanish asosida tanqidiy tahlil qilindi. Flavonoidlar, fenol kislotalari, stilbenlar, lignanlar va taninlarning erkin radikallarni neytrallash, metall ionlarini xelatlash, lipid peroksidlanishini cheklash hamda Keap1–Nrf2/ARE, NF-κB, AMPK/SIRT1 va eNOS yo‘llarini modulyatsiya qilish mexanizmlari umumlashtirildi. DPPH, ABTS, FRAP, CUPRAC, ORAC va hujayraviy antioksidant faollik usullarining axborot qiymati hamda cheklovlari qiyoslandi. Zamonaviy randomizatsiyalangan tadqiqotlar va meta-tahlillar polifenolga boy oziq-ovqatlar hamda ayrim standartlashtirilgan qo‘shimchalar oksidlovchi stress va kardiometabolik biomarkerlarda mo‘tadil ijobiy o‘zgarish berishi mumkinligini ko‘rsatadi, biroq natijalar preparat tarkibi, doza, metabolik fenotip va biomarker tanloviga bog‘liq. Polifenollarning haqiqiy biologik qiymatini baholash uchun kimyoviy testdan klinik natijagacha bo‘lgan ko‘p bosqichli translatsion model taklif etildi.

Kalit so‘zlar: polifenollar, antioksidant potensial, oksidlovchi stress, bioo‘zlashtirilish, ichak mikrobiotasi, Nrf2/ARE, flavonoidlar, fenolik metabolitlar, DPPH, ORAC, klinik biomarkerlar.

KIRISH. Reaktiv kislorod va azot turlari tirik organizm uchun faqat zararli mahsulot emas, balki hujayra proliferatsiyasi, immun javob, tomir tonusi, mitoxondrial moslashuv va gen ekspressiyasini boshqaruvchi fiziologik signallardir; patologik holat ularning hosil bo‘lish tezligi va davomiyligi endogen nazorat tizimlarining imkoniyatidan oshib, lipidlar, oqsillar, nuklein kislotalar va membrana tuzilmalarida oksidlovchi shikastlanishni kuchaytirganda yuzaga keladi. Shu sababli oksidlovchi stressni “erkin radikallar ko‘payishi” bilan cheklash ilmiy jihatdan tor yondashuv bo‘lib, u redoks-signallarning buzilishi, himoya fermentlarining yetishmovchiligi va molekulyar zarar yig‘indisini anglatadi. Yurak-qon tomir kasalliklari, insulin rezistentligi, 2-tur qandli diabet, neyrodegeneratsiya, surunkali yallig‘lanish va qarish biologiyasida ushbu jarayonlarning ishtiroki o‘simlik polifenollariga qiziqishni keskin oshirdi. Polifenollar o‘simliklarning ikkilamchi metabolitlari bo‘lib, meva va sabzavotlar, rezavorlar, choy, qahva, kakao, uzum, anor, don va dukkaklilar, yong‘oq, ziravor hamda dorivor o‘simliklarda keng uchraydi; kimyoviy tuzilishiga ko‘ra

flavonoidlar, fenol kislotalari, stilbenlar, lignanlar, taninlar va boshqa guruhlarga ajratiladi [1–3]. Ularning laboratoriya sharoitidagi antioksidant xususiyati fenolik gidroksil guruhidan elektron yoki vodorod atomi berish, hosil bo‘lgan fenoksil radikalni rezonans orqali barqarorlashtirish, temir va mis ionlarini xelatlash hamda lipid peroksidlanish zanjirini uzish bilan izohlanadi. Flavonoid molekulasidagi B halqaning orto-digidroksil konfiguratsiyasi, C2=C3 qo‘sh bog‘i bilan 4-okso guruhning konjugatsiyasi, 3- va 5-gidroksil guruhlari, gallat qoldig‘i, glikozillanish va metillanish darajasi reaktivlikni sezilarli o‘zgartiradi [2,17]. Biroq so‘nggi tadqiqotlar polifenollarni organizmda yuqori konsentratsiyada aylanib, erkin radikallarni bevosita “tutib qoluvchi” kimyoviy qalqon sifatida talqin qilish yetarli emasligini ko‘rsatdi. Oziq bilan qabul qilingan ko‘plab polifenollar ingichka ichakda cheklangan miqdorda so‘riladi, enterotsit va jigarda glukuronidlanish, sulfatlanish va metillanishga uchraydi, katta qismi esa yo‘g‘on ichak mikrobiotasi tomonidan kichik fenolik kislotalar, urolitinlar, fenil-γ-valerolaktonlar va enterolignanlarga aylantiriladi [4–9]. Demak, qon va to‘qimalarda biologik ta’sir ko‘rsatadigan shakllar ko‘pincha oziqdagi dastlabki aglikondan farq qiladi. Plazmadagi glutation, urat, askorbat, albumin tiollari va antioksidant fermentlarning konsentratsion ustunligi ham polifenollarning bevosita radikal tutish rolini qayta baholashni talab qiladi [10–12]. Ilmiy adabiyotdagi asosiy metodologik xato “antioksidant faollik”, “antioksidant sig‘im” va “biologik antioksidant samara” tushunchalarining tenglashtirilishidir. Birinchisi ma’lum reaksiyaning tezligi va mexanizmini, ikkinchisi namunaning qancha oksidlovchini neytrallay olishini, uchinchisi esa hujayra yoki organizmda real molekulyar zarar va funksional natijaning o‘zgarishini anglatadi. DPPH yoki FRAP natijasining yuqoriligi klinik foydani o‘z-o‘zidan isbotlamaydi [13–16]. Zamonaviy konsepsiyaga ko‘ra, polifenollar Keap1–Nrf2/ARE, NF-κB, MAPK, PI3K/Akt, AMPK, SIRT1, eNOS va NADPH-oksidaza tizimlariga ta’sir qilib, endogen sitoprotektiv javob, yallig‘lanish, mitoxondrial funksiya va endotelial homeostazni past konsentratsiyada modulyatsiya qiladi [3,8,18]. Tadqiqotning maqsadi o‘simlik manbali polifenollarning antioksidant potensialini molekulyar tuzilishdan klinik biomarkergacha bo‘lgan uzluksiz dalillar zanjirida tahlil qilishdir. Ilmiy yangilik polifenolning haqiqiy qiymatini “strukturaviy reaktivlik – bioaccessibility va bioo‘zlashtirilish – mikrobiota metabolizmi – hujayraviy redoks javobi – klinik natija” konturlarini birlashtiruvchi translatsion model asosida baholash hamda laboratoriya faolligi bilan biologik samaradorlik o‘rtasidagi chegarani aniqlashtirishdan iborat. Mazkur muammo oziq-ovqat kimyosi bilan klinik tibbiyot o‘rtasidagi translatsion uzilishda ayniqsa yaqqol ko‘rinadi. O‘simlik ekstraktining in vitro sharoitdagi yuqori faolligi ko‘pincha mahsulotni funksional oziq-ovqat yoki nutrasevtik vosita sifatida tavsiya qilish uchun yetarli dalil deb qaraladi, holbuki ekstraktdagi birikmalarning hazm jarayonida saqlanishi, ichak epiteliysidan o‘tishi, plazma oqsillari bilan bog‘lanishi, nishon to‘qimaga yetib borishi va fiziologik konsentratsiyada mexanistik javob chaqirishi alohida tekshirilishi kerak. Bundan tashqari, polifenol atamasi minglab strukturaviy jihatdan farqli molekulalarni birlashtiradi; kversetin, epigallokatexin gallat, antosianin, kurkumin, resveratrol, xlorogen kislota yoki ellagitaninning farmakokinetikasi va nishonlari bir xil emas. Shu sababli “polifenollar foydali” degan umumiy hukm ilmiy xulosaning boshlanishi bo‘lishi mumkin, lekin yakuni bo‘la olmaydi. Har bir sinf uchun kimyoviy shakl, oziq

manbai, doza, metabolit va klinik kontekst aniqlanishi zarur. Ushbu pozitsiya maqolada polifenollarni yagona farmakologik guruh sifatida emas, umumiy strukturaviy belgiga ega, ammo biologik taqdiri va nishonlari turlicha bo‘lgan birikmalar majmui sifatida o‘rganishning metodologik asosi bo‘lib xizmat qiladi.

TADQIQOT MATERIALLARI VA METODLARI. Tadqiqot integrativ-tahliliy ilmiy sharh shaklida bajarildi; biokimyo, oziq-ovqat kimyosi, farmakokinetika, mikrobiomika va klinik ovqatlanish sohalaridagi dalillar yagona tahliliy tizimga birlashtirildi. PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science va Google Scholar bazalarida 2010-yildan 2026-yil iyunigacha chop etilgan ishlar ko‘rib chiqildi, 2021–2026-yillardagi metodologik sharhlar, randomizatsiyalangan nazoratli tadqiqotlar, tizimli sharhlar va meta-tahlillarga ustuvorlik berildi; antioksidant testlar va polifenol farmakokinetikasini shakllantirgan fundamental manbalar vaqt chegarasidan qat’i nazar kiritildi. Qidiruvda “plant polyphenols”, “antioxidant activity”, “antioxidant capacity”, “oxidative stress”, “redox signaling”, “Nrf2”, “bioavailability”, “gut microbiota”, “polyphenol metabolites”, “DPPH”, “ABTS”, “FRAP”, “CUPRAC”, “ORAC”, “randomized controlled trial” va “meta-analysis” iboralari kombinatsiyalandi. Tanlash mezonlari sifatida o‘simlikdan olingan individual polifenol, standartlashtirilgan ekstrakt yoki polifenolga boy oziq-ovqatni o‘rgangan, kimyoviy tarkib yoki doza haqida yetarli ma’lumot bergan, mexanizm, bioo‘zlashtirilish, mikrobiota biotransformatsiyasi yoki inson biomarkerlarini baholagan ekspert-taqrizli maqolalar qabul qilindi. Ekstraksiya sharoiti va standart moddasini ko‘rsatmay, faqat umumiy fenollar hamda bitta DPPH foizini bergan ishlar; tarkibi noma’lum aralashmalar; nazoratsiz klinik kuzatuvlar va tijorat da’volariga asoslangan materiallar dalil og‘irligi past manba sifatida baholandi. Dalillar to‘rt darajaga ajratildi: I daraja — meta-tahlil, tizimli sharh va randomizatsiyalangan klinik tadqiqotlar; II daraja — insondagi farmakokinetik va mexanistik ishlar; III daraja — hujayra va hayvon modellari; IV daraja — hujayrasiz kimyoviy testlar. Analitik usullar elektron uzatish, vodorod atomi uzatish, metall xelatlash, lipid oksidlanishini ingibitsiya qilish va hujayraviy antioksidant faollik guruhlarida qiyoslandi. Har bir test uchun oksidlovchi turi, pH, erituvchi, reaksiya vaqti, namuna pigmentlari, standart modda, natija birligi va fiziologik moslik hisobga olindi [13–16,23–25]. Klinik tahlilda F2-izoprostanlar, oksidlangan LDL, malondialdegid/TBARS, 8-gidroksi-2′-deoksiguanozin, GSH/GSSG nisbati, SOD, katalaza va glutation-peroksidaza ko‘rsatkichlarining spetsifikligi baholandi. Sintez jarayonida statistik ahamiyat biologik va klinik ahamiyatdan ajratildi; intervensiya turi, doza, davomiylik, ishtirokchilarning boshlang‘ich metabolik holati va tadqiqotlararo heterogenlik natijani sharhlashning asosiy moderatorlari sifatida qabul qilindi. Manbalarni sifat jihatidan baholashda faqat jurnalning nufuzi yoki iqtiboslar soniga emas, tadqiqot savoliga mos dizayn, randomizatsiya va ko‘rlash, namuna hajmi, intervensiya tarkibining standartlashtirilishi, birlamchi yakunlarning oldindan belgilanishi, yo‘qolgan ma’lumotlar, statistik model va manfaatlar to‘qnashuvi kabi mezonlarga e’tibor berildi. Tizimli sharh va meta-tahlillarda qidiruvning qamrovi, risk-of-bias bahosi, heterogenlik, nashr xatosi va sezgirlik tahlili hisobga olindi. Hujayra tajribalarida ishlatilgan konsentratsiya inson plazmasida erishiladigan miqdor bilan solishtirildi; yuzlab mikromolyar dozada olingan natijalar fiziologik relevanti past dalil sifatida

sharhlandi. Hayvon tadqiqotlarida tana vazniga nisbatan doza va inson ekvivalent dozasiga o‘tish masalasi e’tiborga olindi. Kimyoviy testlarda natijalarni Trolox, askorbin kislota yoki gall kislota ekvivalentida berish usullari bir-biriga to‘g‘ridan-to‘g‘ri tenglashtirilmadi. Mazkur yondashuv sharhni oddiy ma’lumotlar ro‘yxatidan farqlab, dalillarning translatsion qiymatini baholash imkonini berdi.

NATIJALAR. Tahlil polifenollarning antioksidant potensiali yagona xususiyat emas, balki tuzilish, reaksiya kinetikasi, oziq-ovqat matritsasi, metabolizm va organizmning boshlang‘ich redoks holati bilan belgilanadigan ko‘p darajali fenomen ekanini ko‘rsatdi. Molekulyar darajada katexol konfiguratsiyasi, konjugatsiyalangan qo‘sh bog‘lar va gallat guruhlari radikal hosil bo‘lgandan keyin elektronni delokalizatsiya qilib, fenoksil radikalning barqarorligini oshiradi; glikozillanish gidrofillik va transportni o‘zgartiradi, metillanish esa reaktiv gidroksil guruhlarni kamaytirsa-da, metabolik barqarorlikni kuchaytirishi mumkin [2,17]. Shuning uchun birikmaning “kuchli” yoki “kuchsiz” antioksidantligi muhitdan tashqarida mutlaq sifat emas. Polifenollar yuqori konsentratsiyada yoki o‘tish metallari mavjud sharoitda prooksidant xususiyat ham namoyon qilishi mumkin; vodorod peroksid hosil bo‘lishi, metallni qayta tiklash va redoks-siklga kirish ayrim hujayra tajribalaridagi sitotoksiklikni izohlaydi. Past darajadagi prooksidant signal esa Nrf2 orqali moslashuv javobini faollashtiruvchi gormetik omil bo‘lishi mumkin [11,12,18]. Analitik testlar qiyosi ularning turli kimyoviy atributlarni o‘lchashini tasdiqladi. DPPH oddiy va arzon, lekin fiziologik bo‘lmagan sun’iy radikal, organik muhit, sterik to‘siqlar va reaksiya vaqtiga kuchli bog‘liq. ABTS gidrofil va lipofil namunalarga mosroq, biroq radikalni tayyorlash, pH va yakuniy vaqt nuqtasi natijani o‘zgartiradi. FRAP temir(III)ni temir(II)ga qaytarish qobiliyatini, CUPRAC esa mis(II)ni qaytarishni o‘lchaydi; ikkalasi ham radikal zanjirini uzishdan ko‘ra reduksion sig‘imni ifodalaydi. ORAC peroksil radikal ta’sirida fluoresansning vaqt bo‘yicha pasayishini hisobga olib, kinetik HAT jarayoniga yaqinroq, ammo laboratoriyalararo standartlashtirish va matriksa interferensiyasi muammosi saqlanadi. Folin–Ciocalteu testi polifenolga xos emas, askorbat, qaytaruvchi shakar va boshqa nofenolik moddalar bilan ham reaksiyaga kirishadi. Rumpf va hammualliflar DPPH, ABTS, FRAP hamda Folin–Ciocalteu testlari bir xil hodisani takrorlamasligini statistik ko‘rsatgan; demak, bir usuldagi yuqori qiymatni universal antioksidant samara deb talqin qilish mumkin emas [13–16]. Hujayraviy antioksidant faollik testi membranadan o‘tish, hujayra ichidagi oksidlanish va sitotoksiklikni qisman hisobga olgani uchun kimyoviy testdan biologik tizimga yaqinroq, biroq undagi konsentratsiya, hujayra liniyasi va kulturadagi muhit ham inson organizmini to‘liq aks ettirmaydi [25]. Bioo‘zlashtirilish tahlili oziqdagi umumiy polifenol miqdori real tizimli dozaga teng emasligini ko‘rsatdi. Polimer taninlar va bog‘langan fenol kislotalari ingichka ichakda yomon so‘riladi, ayrim glikozidlar maxsus gidrolizdan keyin o‘tadi, oziq tolasi va oqsillar bilan komplekslar esa so‘rilishni kechiktirib, moddalarning yo‘g‘on ichakka yetib borishini kuchaytiradi. Termik va no-termik ishlov ba’zi fenollarni hujayra devoridan ajratib bioaccessibilityni oshirishi, ayni paytda antosianin kabi termolabil moddalarni parchalashi mumkin [4]. So‘rilgan polifenollar tez kon’yugatsiyalanadi; yo‘g‘on ichakka yetgan qismi mikrobiota orqali fenolik kislotalar, urolitinlar va fenil-γ-valerolaktonlarga aylanadi. Ushbu metabolitlar parent birikmalarga qaraganda yuqoriroq tizimli ekspozitsiyaga

erishishi mumkin. Mikrobiota tarkibidagi individual farqlar bir xil mahsulotdan turli metabolit profili hosil bo‘lishiga olib keladi; shu sababli “javob beruvchi” va “javob bermaydigan” metabolik fenotiplar mavjud [5–9]. Molekulyar mexanizmlar bo‘yicha polifenollar va ularning metabolitlari Keap1–Nrf2 kompleksiga ta’sir qilib, Nrf2 ning yadroga ko‘chishi hamda HO-1, NQO1, GCLC va boshqa sitoprotektiv genlar ekspressiyasini kuchaytiradi; NADPH-oksidaza va ksantinoksidaza faolligini kamaytirishi, NF-κB va MAPK orqali yallig‘lanish mediatorlarini susaytirishi, AMPK/SIRT1 va eNOS yo‘llari orqali mitoxondrial va endotelial funksiyani qo‘llab-quvvatlashi mumkin [3,18]. Bu ta’sirlar parent aglikonning bevosita radikal tutishidan ko‘ra fiziologik jihatdan ishonchliroq mexanizm sifatida qaralmoqda. Klinik dalillar foydali, ammo bir xil emas. 2024-yilda e’lon qilingan meta-tahlilda 281 randomizatsiyalangan tadqiqotdagi 17 126 ishtirokchi jamlanib, katexin, antosianin, kurkumin, xlorogen kislota, genistein, resveratrol va kversetin kabi qo‘shimchalarning qon bosimi, lipid va glikemik ko‘rsatkichlarga ayrim ijobiy ta’siri qayd etilgan, biroq ta’sir kattaligi mo‘tadil va tadqiqotlararo heterogenlik yuqori bo‘lgan [19]. Rezavorlar bo‘yicha 28 randomizatsiyalangan tadqiqotni qamrab olgan tizimli sharhda F2-izoprostanlar, oksidlangan LDL, MDA va antioksidant fermentlar bo‘yicha ayrim ijobiy siljishlar aniqlangan bo‘lsa-da, turli biomarkerlar va dozalar qat’iy umumiy xulosani cheklagan [20]. Zaytun moyi fenollari bo‘yicha doza-javob meta-tahlili oksidlovchi stress ko‘rsatkichlarida ijobiy yo‘nalishni ko‘rsatgan, ammo fenol tarkibi, aralashuv muddati va ishtirokchilarning holati natijaga ta’sir qilgan [21]. 2025-yilgi tizimli sharh va meta-tahlilda ortiqcha vaznli yoki semiz 670 kattani qamrab olgan 13 sinov tahlil qilinib, polifenolga boy intervensiyalar katalaza faolligi, butirat va atsetat miqdorini oshirgan hamda aylanmadagi lipopolisaxaridlarni kamaytirgan, lekin tana vazni va ko‘pchilik yallig‘lanish markerlarida barqaror ta’sir aniqlanmagan [22]. Ushbu natijalar polifenollarning foydasini inkor etmaydi, balki uni shartli va kontekstga bog‘liq ekanini ko‘rsatadi: butun oziq-ovqat, standartlashtirilgan ekstrakt va izolyatsiyalangan modda bir xil intervensiya emas; boshlang‘ich oksidlovchi stress yuqori shaxslarda javob kuchliroq, sog‘lom guruhda esa “shift effekti” sabab o‘zgarish kichik bo‘lishi mumkin. Biomarkerlar orasida F2-izoprostanlar va oksidlangan LDL nisbatan ishonchli, TBARS/MDA esa analitik interferensiyaga sezgir; SOD yoki katalaza faolligining oshishi himoya tizimi induksiyasini, pasayishi esa oksidlovchi yukning kamayishini anglatishi mumkin. Shu bois bir marker asosida klinik samara chiqarish metodologik jihatdan noto‘g‘ri. Polifenol sinflari kesimida ham umumiy qonuniyat bilan birga muhim farqlar aniqlandi. Flavan-3-ollar va ularning gallatlangan shakllari yuqori kimyoviy reaktivlikka ega bo‘lsa-da, ichakda keng metabolizmga uchraydi; ularning fenil-γ-valerolakton metabolitlari tizimli ta’sirning muhim tashuvchisi bo‘lishi mumkin. Antosianinlarning mutlaq bioo‘zlashtirilishi odatda past, biroq ularning parchalanish mahsulotlari, ichak to‘sig‘i va endotelial signalizatsiyaga ta’siri boshlang‘ich molekula miqdoridan kengroq biologik natija berishi ehtimolini ko‘rsatadi. Ellagitaninlar mikrobiota tomonidan urolitinlarga aylantiriladi, biroq barcha odamlarda ushbu metabolitlar bir xil hosil bo‘lmaydi; metabotip farqlari klinik javobni belgilovchi omillardan biridir. Kversetin ko‘pincha oziqda glikozid shaklida bo‘lib, uning so‘rilishi shakar qoldig‘iga va oziq matritsasiga bog‘liq. Resveratrol tez kon’yugatsiyalanishi sabab parent shaklda past ekspozitsiyaga ega, kurkumin esa

yomon eruvchanligi va tez metabolizmi bilan cheklanadi; bu birikmalar uchun formulatsiya samaradorligini faqat hujayra tajribasi emas, plazma AUC va metabolitlar profili bilan isbotlash talab etiladi. Fenol kislotalarining ayrimlari, xususan xlorogen kislota va uning mikrobiota hosilalari, qahva va don mahsulotlarining tizimli ta’siriga hissa qo‘shadi. Ushbu farqlar barcha polifenollarni bir xil milligramm yoki “umumiy fenol” ko‘rsatkichi bo‘yicha taqqoslash ilmiy jihatdan cheklanganini ko‘rsatadi. Shuningdek, antioksidant biomarkerlarning vaqt dinamikasi muhim ekanligi aniqlandi. Bir martalik polifenolga boy ovqatdan keyin plazmaning umumiy antioksidant sig‘imi oshishi mumkin, ammo bu ba’zan urat miqdorining ko‘tarilishi yoki oziqdagi boshqa komponentlar bilan bog‘liq bo‘ladi. Uzoq muddatli intervensiyada esa ferment ekspressiyasi, lipoprotein oksidlanishi, endotelial funksiya va yallig‘lanish fonidagi o‘zgarishlar muhimroq. Postprandial va surunkali dizaynlar turli biologik savollarga javob beradi, shu sababli ularning natijalarini bir xil effekt sifatida birlashtirish to‘g‘ri emas. Annuzzi va hammualliflarning nazoratli oziqlanish tadqiqoti polifenolga tabiiy boy ratsion metabolik xavfi yuqori shaxslarda postprandial lipid almashinuvi va oksidlovchi stress ko‘rsatkichlarini yaxshilashi mumkinligini ko‘rsatgan [26]. Biroq butun ratsion intervensiyasida kuzatilgan samaraning qaysi qismi alohida polifenol, qaysi qismi oziq tolasi, yog‘ kislotalari va energiya taqsimotiga tegishli ekanini ajratish qiyin. Bu holat butun oziq-ovqat tadqiqotlarining ekologik haqiqiyligi yuqori, mexanistik spetsifikligi esa nisbatan past ekanini anglatadi. Izolyatsiyalangan birikma tadqiqoti buning aksidir: mexanizm aniqroq, ammo real ratsionga tatbiqi cheklangan.

MUHOKAMA. Natijalar polifenol tadqiqotlarida keng tarqalgan “umumiy fenollar ko‘p — DPPH yuqori — sog‘liq uchun foyda kuchli” formulasining reduksionistik ekanini ko‘rsatdi. Ushbu zanjirning birinchi zaif nuqtasi umumiy fenollarni aniqlash usulining selektiv emasligi, ikkinchisi kimyoviy testning fiziologik sharoitdan uzoqligi, uchinchisi esa parent birikmaning hazm va metabolizmda o‘zgarishidir. Ekstraktni biologik jihatdan asoslash uchun kamida uch bosqich talab etiladi: birinchidan, HPLC yoki LC–MS orqali individual markerlar va sinflar bo‘yicha kimyoviy profil; ikkinchidan, SET va HAT prinsipidagi kamida ikki komplementar test hamda lipid peroksidlanish yoki metall xelatlash modeli; uchinchidan, simulyatsiyalangan hazm, hujayraviy redoks javobi va zarur hollarda insondagi validatsiya. Maqolada taklif etilgan besh konturli translatsion model ushbu mantiqni tizimlashtiradi. Birinchi kontur — strukturaviy reaktivlik — molekulaning elektron yoki vodorod berish, xelatlash va membrana bilan o‘zaro ta’sir imkoniyatini tavsiflaydi. Ikkinchi kontur — bioaccessibility va bioo‘zlashtirilish — oziq matritsasidan ajralish, ichakdan o‘tish va II faza metabolizmini hisobga oladi. Uchinchi kontur — metabolik-mikrobiota konturi — mikroorganizmlar hosil qilgan metabolitlar va individual metabotipni qamrab oladi. To‘rtinchi kontur — hujayraviy redoks javobi — Nrf2, NF-κB, AMPK/SIRT1, NADPH-oksidaza, GSH/GSSG va mitoxondrial funksiyadagi o‘zgarishlarni tekshiradi. Beshinchi kontur — klinik-natijaviy kontur — validatsiyalangan oksidlovchi zarar biomarkerlari, endotelial funksiya, qon bosimi, lipid, glyukoza va kasallikka oid funksional natijalarni baholaydi. Ekstraktni “antioksidant potensiali yuqori” deb laboratoriya darajasida tavsiflash uchun birinchi kontur yetishi mumkin, biologik da’vo uchun dastlabki to‘rtta, sog‘liq bo‘yicha amaliy xulosa uchun esa barcha konturlar bo‘yicha mos dalil talab etiladi. Ushbu model

kimyoviy natijani klinik da’voga shoshilinch ko‘chirishning oldini oladi. Muhim ilmiy masala polifenollarning doza-javob va gormetik xususiyatidir. Past va fiziologik konsentratsiyalar endogen himoya tizimini moslashtirishi, yuqori doza esa prooksidantlik, mitoxondrial stress, temir so‘rilishining pasayishi yoki dori metabolizmiga ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Shuning uchun “tabiiy” atamasi “cheksiz xavfsiz” degani emas. Meva, sabzavot, choy, yong‘oq yoki zaytun moyidagi polifenollar oziq tolasi, vitaminlar, minerallar, yog‘ kislotalari va boshqa fitokimyoviy moddalar bilan birga iste’mol qilinadi; yuqori dozali izolyatsiyalangan qo‘shimcha esa boshqa farmakokinetik profilga ega. Profilaktik tavsiyada xilma-xil o‘simlik mahsulotlariga boy ratsion ustuvor, konsentrlangan nutrasevtik mahsulot uchun esa tarkib, doza-javob, xavfsizlik va dori bilan o‘zaro ta’sir bo‘yicha alohida dalil talab qilinadi. Tadqiqotlarning takrorlanuvchanligi uchun xomashyoning botanik autentifikatsiyasi, geografik kelib chiqishi, pishish bosqichi, namligi, ekstraksiya erituvchisi, harorat va vaqt, ekstrakt chiqishi, saqlash sharoiti hamda marker birikmalar miqdori ko‘rsatilishi lozim. “500 mg ekstrakt” yozuvi yetarli emas; mahsulot massasi, umumiy polifenol miqdori va asosiy individual birikmalar dozasi alohida berilishi kerak. Klinik sinovlarda odatiy ratsion, chekish, jismoniy faollik, jins, yosh, menopauza holati, dori qabul qilish, boshlang‘ich oksidlovchi stress va mikrobiota metabotipi nazorat qilinmasa, interindividual farqlar o‘rtacha natijani xiralashtiradi. Kelgusidagi tadqiqotlarda metabolomika real plazma va siydik metabolitlarini, metagenomika mikrobiota funksiyasini, transkriptomika Nrf2/NF-κB javobini, lipidomika oksidlangan lipidlarni, proteomika esa redoks fermentlari va oqsil modifikatsiyalarini aniqlashi mumkin. Biroq omiks ma’lumotlarining ko‘pligi o‘z-o‘zidan sababiyat yaratmaydi; oldindan belgilangan gipoteza, mustaqil validatsiya va klinik ahamiyat zarur. O‘zbekiston sharoitida uzum va uning po‘sti/urug‘i, anor, olma, o‘rik, piyoz, yong‘oq, choy, rayhon va mahalliy dorivor o‘simliklar istiqbolli manbalardir. Ularni yuqori darajada o‘rganish uchun “etanolli ekstrakt – umumiy fenol – DPPH” sxemasidan LC–MS profil, komplementar testlar, simulyatsiyalangan hazm, hujayraviy mexanizm va xavfsizlikka asoslangan dizaynga o‘tish lozim. Shunday yondashuv mahalliy o‘simlik xomashyosini funksional oziq-ovqat yoki farmatsevtik mahsulotga aylantirishda ilmiy asos, standartlashtirish va xalqaro taqqoslanuvchanlikni ta’minlaydi. Umuman, polifenollarni “radikalni yutuvchi vitaminsimon modda” emas, balki metabolizm, mikrobiota va redoks-signalizatsiyaga ko‘p nishonli ta’sir ko‘rsatuvchi bioaktiv birikmalar sinfi sifatida talqin qilish zamonaviy dalillarga ko‘proq mos keladi. Translatsion modelning yana bir afzalligi salbiy yoki neytral natijalarni ilmiy jihatdan izohlash imkonidir. Intervensiya DPPH bo‘yicha kuchli bo‘lib, klinik biomarkerga ta’sir qilmagan taqdirda, bu birikmaning umuman faolsizligini emas, bioaccessibilityning pastligi, noto‘g‘ri doza, qisqa davomiylik, sog‘lom populyatsiyadagi shift effekti yoki tanlangan biomarkerning sezgir emasligini anglatishi mumkin. Aksincha, kimyoviy testda o‘rtacha natija ko‘rsatgan mahsulot Nrf2 induksiyasi, mikrobiota yoki endotelial signalizatsiya orqali biologik samara berishi ehtimoli mavjud. Shu sababli “ijobiy” va “salbiy” natijalarni faqat p-qiymat bilan emas, mexanistik zanjirning qaysi bosqichi ishlagan yoki uzilganiga qarab talqin qilish zarur. Dalillarning amaliy qiymatini oshirish uchun klinik sinovlar kamida bitta oksidlovchi zarar markeri, bitta endogen himoya ko‘rsatkichi va

bitta funksional natijani birlashtirishi lozim. Masalan, F2-izoprostan yoki oksidlangan LDL bilan birga GSH/GSSG yoxud katalaza, shuningdek oqimga bog‘liq vazodilatatsiya, qon bosimi yoki insulin sezgirligi baholansa, kimyoviy va funksional qatlamlar o‘rtasida bog‘lanish o‘rnatiladi. Oldindan ro‘yxatdan o‘tkazilgan birlamchi yakunlar va ko‘p taqqoslash uchun tuzatma tasodifiy ijobiy topilmalarni kamaytiradi. Compliance faqat kapsula sanash bilan emas, siydik yoki plazmadagi marker metabolitlar bilan tekshirilishi maqsadga muvofiq. Preparatning saqlash davomida oksidlanishi, partiyalararo tarkib farqi va plaseboning o‘z biologik faolligi ham nazorat qilinishi kerak. Xavfsizlik masalasi DSc darajasidagi tahlilda foyda bilan teng og‘irlikda ko‘rilishi lozim. Ko‘p miqdordagi choy katexini, kurkumin yoki boshqa konsentrlangan ekstraktlar ayrim shaxslarda gastrointestinal noqulaylik, jigar fermentlarining o‘zgarishi, trombotsit funksiyasi yoki dori transportyorlariga ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Polifenollarning temir bilan kompleks hosil qilishi oksidlanishni cheklashi mumkin, biroq temir tanqisligiga moyil shaxslarda so‘rilishni pasaytiradi. Sitoxrom P450, OATP va P-glikoprotein bilan o‘zaro ta’sir dori ekspozitsiyasini o‘zgartirishi ehtimoli sabab nutrasevtik mahsulotni “oziqdan olingan” degan asos bilan farmakologik nazoratsiz qo‘llash to‘g‘ri emas. Shuning uchun tavsiya doirasi sog‘lom ratsiondagi fiziologik miqdor bilan konsentrlangan preparatning farmakologik dozasini qat’iy farqlashi kerak.

XULOSA. O‘simlik manbali polifenollarning antioksidant potensiali molekulyar tuzilish, oziq-ovqat matritsasi, hazm va so‘rilish, II faza biotransformatsiyasi, ichak mikrobiotasi, hujayraviy redoks-signalizatsiya va klinik natijalar birligida shakllanadigan murakkab biologik xususiyatdir. Polifenollar hujayrasiz muhitda radikallarni neytrallashi, metall ionlarini xelatlashi va lipid peroksidlanishini cheklashi mumkin, ammo organizmda ularning asosiy ta’siri ko‘pincha Nrf2/ARE orqali endogen himoyani kuchaytirish, prooksidant fermentlar va yallig‘lanish yo‘llarini modulyatsiya qilish hamda mikrobiota hosil qilgan metabolitlar bilan bog‘liq. DPPH, ABTS, FRAP, CUPRAC va ORAC turli kimyoviy atributlarni o‘lchaydi; shu sababli bitta test biologik samaradorlik mezoni bo‘la olmaydi. Klinik tadqiqotlar ayrim foydali o‘zgarishlarni ko‘rsatsa-da, ta’sir odatda mo‘tadil va preparat, doza, populyatsiya hamda biomarkerga bog‘liq. Taklif etilgan besh konturli model kimyoviy faollikdan klinik natijagacha dalillar kuchini izchil baholash imkonini beradi. Amaliy jihatdan polifenollar xilma-xil o‘simlik mahsulotlariga boy ratsionning ko‘p nishonli bioaktiv komponentlari sifatida qaralishi, yuqori dozali ekstraktlar esa faqat standartlashtirilgan tarkib, bioo‘zlashtirilish, xavfsizlik va klinik dalil mavjud bo‘lganda tavsiya qilinishi lozim.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Rudrapal M., Rakshit G., Singh R.P., Garse S., Khan J., Chakraborty S. Dietary Polyphenols: Review on Chemistry/Sources, Bioavailability/Metabolism, Antioxidant Effects, and Their Role in Disease Management. Antioxidants. 2024;13(4):429. doi:10.3390/antiox13040429.

2. Tsao R. Chemistry and Biochemistry of Dietary Polyphenols. Nutrients. 2010;2(12):1231–1246. doi:10.3390/nu2121231.

3. Fraga C.G., Croft K.D., Kennedy D.O., Tomás-Barberán F.A. The effects of polyphenols and other bioactives on human health. Food & Function. 2019;10(2):514–528. doi:10.1039/C8FO01997E.

4. Sejbuk M., Mirończuk-Chodakowska I., Karav S., Witkowska A.M. Dietary Polyphenols, Food Processing and Gut Microbiome: Recent Findings on Bioavailability, Bioactivity, and Gut Microbiome Interplay. Antioxidants. 2024;13(10):1220. doi:10.3390/antiox13101220.

5. D'Archivio M., Filesi C., Varì R., Scazzocchio B., Masella R. Bioavailability of the Polyphenols: Status and Controversies. International Journal of Molecular Sciences. 2010;11(4):1321–1342. doi:10.3390/ijms11041321.

6. Cano R., Bermúdez V., Galbán N., et al. Dietary Polyphenols and Gut Microbiota Cross-Talk: Molecular and Therapeutic Perspectives for Cardiometabolic Disease. International Journal of Molecular Sciences. 2024;25(16):9118. doi:10.3390/ijms25169118.

7. Mahdi L., Graziani G., Gaspari A., et al. Unlocking Polyphenol Efficacy: The Role of Gut Microbiota in Modulating Bioavailability and Health Effects. Nutrients. 2025;17(17):2793. doi:10.3390/nu17172793.

8. Rodriguez-Mateos A. Dietary (poly)phenols and cardiometabolic health: from antioxidants to modulators of the gut microbiota. Proceedings of the Nutrition Society. 2025;84(2):279–289. doi:10.1017/S0029665124000156.

9. Del Rio D., Rodriguez-Mateos A., Spencer J.P.E., Tognolini M., Borges G., Crozier A. Dietary (Poly)phenolics in Human Health: Structures, Bioavailability, and Evidence of Protective Effects Against Chronic Diseases. Antioxidants & Redox Signaling. 2013;18(14):1818–1892. doi:10.1089/ars.2012.4581.

10. Hollman P.C.H., Cassidy A., Comte B., et al. The Biological Relevance of Direct Antioxidant Effects of Polyphenols for Cardiovascular Health in Humans Is Not Established. Journal of Nutrition. 2011;141(5):989S–1009S. doi:10.3945/jn.110.131490.

11. Halliwell B. Free radicals and antioxidants: updating a personal view. Nutrition Reviews. 2012;70(5):257–265. doi:10.1111/j.1753-4887.2012.00476.x.

12. Forman H.J., Davies K.J.A., Ursini F. How do nutritional antioxidants really work: nucleophilic tone and para-hormesis versus free radical scavenging in vivo. Free Radical Biology and Medicine. 2014;66:24–35. doi:10.1016/j.freeradbiomed.2013.05.045.