

MIKROBIOLOGIK FERMENTATSIYANING UZUM PRESS QOLDIG'I POLIFENOLLARI VA ANTIOKSIDANT FAOLLIGIGA TA'SIRINI TADQIQ ETISH

Hakimova Nodira Xayrilloyevna

Buxoro davlat texnika universiteti dotsenti

Izomova Sitorabonu Niyoz qizi

tadqiqodchi

Annotatsiya: Uzum press qoldig'idagi polifenollarning muhim qismi hujayra devori polisaxaridlari va boshqa makromolekulalar bilan bog'langan holatda bo'lib, ularning ekstraksiyasi va bioo'zlashtirilishini cheklaydi. Mikrobiologik fermentatsiya gidrolitik fermentlar, kislotalanish va mikrob metabolizmi ta'sirida ushbu birikmalarning erkinlanishi va biotransformatsiyasiga olib kelishi mumkin. Maqolada fermentatsiyadan oldingi va keyingi umumiy fenollar (TPC), flavonoidlar (TFC), antosianlar (TAC), individual fenol profili hamda DPPH, ABTS va FRAP antioksidant ko'rsatkichlarini kompleks baholash metodologiyasi ishlab chiqildi. 2023–2026 yillardagi tadqiqotlar qiyosiy tahlili fermentatsiya samarasi mikroorganizm turi, fermentativ profil, substrat fraksiyasi va jarayon davomiyligiga bog'liq ekanini ko'rsatdi. TPC yoki bitta radikal-testning o'zi yetarli emasligi, polifenol profili, antioksidant testlar va ferment faolligini integratsiyalangan tarzda tahlil qilish zarurligi asoslandi.

Kalit so'zlar: uzum press qoldig'i, mikrobiologik fermentatsiya, polifenollar, flavonoidlar, antosianlar, DPPH, ABTS, FRAP, antioksidant faollik, biotransformatsiya

Аннотация: Рассмотрено влияние микробной ферментации на фенольный профиль и антиоксидантную активность виноградной выжимки. Предложена комплексная схема определения общих фенолов, флавоноидов, антоцианов, индивидуальных фенольных соединений и антиоксидантной активности методами DPPH, ABTS и FRAP. Показана необходимость совместной интерпретации химических, ферментативных и антиоксидантных показателей.

Ключевые слова: виноградная выжимка, ферментация, полифенолы, антиоксидантная активность, DPPH, ABTS, FRAP

Abstract: The effect of microbial fermentation on grape pomace polyphenols and antioxidant activity is critically examined. A comprehensive analytical framework combining total phenolics, flavonoids, anthocyanins, chromatographic profiling, and DPPH, ABTS and FRAP assays is proposed. Recent studies indicate that fermentation outcomes depend on microorganism, enzyme profile, pomace fraction and processing

time; therefore, multiple chemical and antioxidant endpoints should be interpreted together.

Keywords: grape pomace, microbial fermentation, polyphenols, flavonoids, anthocyanins, DPPH, ABTS, FRAP

Kirish

Polifenollar uzum press qoldig'ining funksional qiymatini belgilovchi asosiy bioaktiv moddalardan biridir. Biroq ularning katta qismi hujayra devori strukturalariga bog'langan, polimerlashgan yoki glikozidlangan shaklda bo'lishi mumkin. Oddiy solvent ekstraksiyasi bunday fraksiyani to'liq ochib bermaydi. Mikrobiologik fermentatsiyada hosil bo'ladigan tannaza, pektinaza, sellyulaza va beta-glukozidaza singari fermentlar struktura to'siqlarini yemirib, eruvchan fenollarni ko'paytirishi yoki fenol molekulalarini yangi metabolitlarga aylantirishi mumkin [1–3].

Fermentatsiya samaradorligini baholashda ko'pincha umumiy fenollar va bitta antioksidant test bilan cheklaniladi. Bu esa mexanizmni to'liq tushuntirmaydi. Masalan, TPC ortishi DPPH yoki ABTS faolligining mutanosib oshishini kafolatlamaydi, chunki turli fenol birikmalarining radikallarni tutish va temirni qaytarish qobiliyati turlicha. Antosianlar esa pH, harorat va fermentatsiya metabolitlariga sezgir bo'lib, umumiy TPC ko'tarilgan holda ham kamayishi mumkin.

Maqolaning maqsadi fermentatsiyadan oldingi va keyingi fenol profilini hamda antioksidant faollikni kompleks baholash usullarini asoslash, zamonaviy tadqiqotlarning miqdoriy natijalarini qiyoslash va uzum press qoldig'i uchun takrorlanuvchi eksperimental protokol taklif etishdan iborat.

Materiallar va metodik yondashuv

Tadqiqot dizaynida kamida ikkita asosiy guruh bo'lishi kerak: fermentatsiya qilinmagan nazorat va fermentatsiyalangan tajriba. Agar bir nechta mikroorganizm solishtirilsa, har bir shtamm alohida guruh sifatida olinadi. Namlik, pH, harorat va fermentatsiya vaqti barcha guruhlarda hujjatlashtiriladi. Natijalar quruq modda asosida ifodalansa, fermentatsiya davomida suv yo'qotish yoki namlik o'zgarishi sababli yuzaga keladigan noto'g'ri farqlar kamayadi.

Ekstraksiya uchun bir xil solvent tizimi, qattiq:suyuqlik nisbati, vaqt va haroratni saqlash zarur. Umumiy fenollar Folin–Ciocalteu bo'yicha mg GAE/g quruq modda, flavonoidlar mg QE/g, monomer antosianlar cyanidin-3-glucoside ekvivalentida ifodalanishi mumkin. Individual fenollarni HPLC-DAD yoki LC-MS/MS bilan tahlil qilish fermentatsiya vaqtida gallic acid, catechin, epicatechin, ferulic acid, syringic acid, resveratrol va boshqa markerlarning o'zgarishini aniqlash imkonini beradi.

Antioksidant faollik uchun kamida uch komplementar test tavsiya etiladi: DPPH — lipofil/organik muhitdagi radikalni tutish qobiliyatiga sezgir; ABTS — kengroq polar diapazonni qamrab oladi; FRAP — ferrik ionlarni qaytarish qobiliyatini

o'ldiradi. Natijalarni Trolox ekvivalenti bilan berish turli tajribalar o'rtasida qiyoslashni osonlashtiradi.



Maqsad: bog'langan polifenollarni ajratish va biotransformatsiya hisobiga antioksidant javobning o'zgarishini izohlash

1-rasm. Fermentatsiyaning polifenollar va antioksidant faollikka ta'sirini baholashning kompleks sxemasi

Fermentatsiya natijasida polifenollarning erkinlanish mexanizmlari

Birinchi mexanizm — hujayra devori gidrolizi. Pektinaza va sellulaza fenollarni ushlab turgan polisaxarid tarmog'ini bo'shatadi. Ikkinchi mexanizm — ester va glikozid bog'larining uzilishi. Tannaza va beta-glukozidaza murakkab fenol shakllaridan nisbatan kichik va ekstraksiyalanuvchan birikmalar hosil qiladi. Uchinchi mexanizm — mikroba metabolizmi orqali dekarboksillanish, reduksiya, oksidlanish yoki demetillanish reaksiyalari natijasida yangi fenolik metabolitlar shakllanishidir [1].

2025 yilgi JFCA sharhida fermentatsiyalangan press qoldig'ida gallic acid, pyrogallol, scopoletin va catechol kabi boshlang'ich substratda aniqlanmagan yoki past bo'lgan birikmalar paydo bo'lishi mumkinligi qayd etilgan [1]. Bu holat fermentatsiyani faqat «ekstraksiyani kuchaytiruvchi» jarayon emas, balki haqiqiy biotransformatsiya bosqichi sifatida ko'rish zarurligini anglatadi.

Zamonaviy tadqiqotlarning miqdoriy natijalari

2024 yilgi Foods tadqiqotida uzum press qoldig'i urug'lari turli zamburug'lar bilan SSF usulida fermentatsiya qilingan. Monascus anka bilan fermentatsiyada eruvchan umumiy fenollar 6,42 marta, eruvchan flavonoidlar 6,68 marta oshgan; DPPH radikalini tutish faolligi 2,14 marta, ABTS esa 3,64 marta ko'tarilgan [2]. Shuningdek chlorogenic, syringic va ferulic kislotalar, epicatechin gallate va resveratrol miqdorining ortishi kuzatilgan. Mualliflar glikozidaza faolligi bilan eruvchan fenollar o'rtasida kuchli musbat bog'liqlik ($r=0,900$) aniqlagan.

A. niger va *A. oryzae* bilan solid-state fermentatsiya bo'yicha boshqa ishda antioksidant faollik mos ravishda 73,7 va 109,2 mmol Trolox ekv./100 g press

qoldig'igacha yetgan, ferment ishlab chiqarish bilan polifenollarni ajratib olish va antioksidant faollik o'rtasida ijobiy bog'liqlik qayd etilgan [3]. Bu natijalar zamburug' fermentatsiyasida fermentativ gidrolizning markaziy rolini qo'llab-quvvatlaydi.

LAB fermentatsiyasida ham ijobiy yo'nalish kuzatiladi. 2023 yilgi sourdough modelida *L. plantarum* T0A10 tanlangan va fermentatsiya DPPH/ABTS faolligi hamda antosian profilini sezilarli o'zgartirgan [4]. 2025/2026 yillarda o'simlik asosidagi yogurt analogida shu shtamm bilan fermentatsiya DPPH radikalini tutish faolligini fermentatsiyalanmagan nazoratdagi 40% dan 57% gacha oshirgan, glikozidlangan flavonollar va fenol kislotalari kamayib, catechin va pyrogallol ortgan [5].

Fermentatsiya modeli	Asosiy natija	Mexanistik izoh
M. anka, uzum urug'i SSF	TPC 6.42×; TFC 6.68×; DPPH 2.14×; ABTS 3.64×	Gidrolazalar va glikozidaza orqali bog'langan fenollarni erkinlashtirish
A. niger / A. oryzae SSF	Antioksidant faollik 73.7 va 109.2 mmol TE/100 g gacha	Tannaza, pektinaza va sellulaza ishlab chiqarilishi
L. plantarum T0A10, sourdough	DPPH/ABTS va antosian profili o'zgargan	Kislotalanish va fenol biotransformatsiyasi
L. plantarum T0A10, plant-based gurt	DPPH 40% → 57%; catechin va pyrogallol ortgan	Glikozidlangan fenollarni mikrobiologik transformatsiya

1-jadval. Fermentatsiyaning uzum press qoldig'i bioaktivligiga ta'siri bo'yicha ayrim zamonaviy natijalar

TPC, TFC va antosianlarni birgalikda talqin qilish

Folin–Ciocalteu testi tez va qulay bo'lsa-da, u fenollarga mutlaq selektiv emas; boshqa qaytaruvchi moddalarga ham javob beradi. Shuning uchun TPC o'sishini bevosita «polifenollar miqdori ortdi» degan yakuniy xulosa bilan cheklash to'g'ri emas. HPLC profili bilan birga talqin qilinganda uning ilmiy qiymati sezilarli oshadi.

TFC ham shunga o'xshash ravishda flavonoid sinflari o'rtasidagi farqni ko'rsatmaydi. Antosianlar esa alohida nazorat qilinishi lozim, chunki fermentatsiya pH ni pasaytirs, pigment rangi barqarorlashishi mumkin, biroq uzoq vaqt, yuqori harorat yoki fermentativ parchalanish ularning kontsentratsiyasini kamaytirishi ehtimoli bor. Qizil uzum press qoldig'i uchun TPC+TFC+TAC uchligi minimal skrining paneli bo'lishi maqsadga muvofiq.

DPPH, ABTS va FRAP testlarining komplementarligi

DPPH natijasining oshishi ko'pincha erkin fenollar soni ko'payishi bilan bog'liq, lekin DPPH organik muhitga va ayrim molekulalarning sterik xususiyatlariga sezgir. ABTS esa suvli va organik fazadagi antioksidantlarni kengroq qamrab olishi mumkin.

FRAP radikal tutishdan ko'ra reduksion quvvatni o'lchaydi. Shu sababli uch testning bir yo'nalishda o'zgarishi fermentatsiya natijasining ishonchliligini kuchaytiradi.

Agar TPC oshib, DPPH ortsa-yu, FRAP o'zgarmasa, fenol tarkibining miqdoriy emas, sifat jihatdan o'zgarganini taxmin qilish mumkin. Aksincha, TPC o'zgarmagan holda ABTS yoki FRAPning oshishi yangi kuchli antioksidant metabolitlar paydo bo'lishi yoki mavjud fenollarning kimyoviy shakli o'zgarganini ko'rsatishi mumkin. Bunday holatlarda LC-MS/MS yoki kamida HPLC-DAD profilini tekshirish zarur.

Statistik tahlil va ilmiy ishonchlilik

Har bir fermentatsiya varianti kamida uch mustaqil biologik takrorda bajarilishi, analitik o'lchovlar esa texnik takrorlarda olinishi kerak. Fermentatsiyadan oldingi va keyingi natijalar uchun paired t-test yoki mos noparametrik test, bir nechta shtamm va vaqt nuqtalari mavjud bo'lsa ikki omilli ANOVA qo'llanishi mumkin. Ko'p taqqoslashda xatolikni nazorat qilish uchun Tukey yoki boshqa post-hoc mezon tanlanadi.

O'zgarishni foizda ifodalash uchun $\Delta\% = (C_f - C_0)/C_0 \times 100$ formulasi qo'llanadi, bunda C_0 — fermentatsiyadan oldingi, C_f — keyingi ko'rsatkich. TPC/TFC/TAC va DPPH/ABTS/FRAP o'rtasidagi Pearson yoki Spearman korrelyatsiyasi fenol tarkibi bilan antioksidant javob o'rtasidagi bog'liqlikni ko'rsatadi. Ferment faolligi ham qo'shilsa, mexanizm haqida ancha kuchli xulosa chiqarish mumkin.

Ko'p ko'rsatkichli ma'lumotlarda PCA (principal component analysis) turli shtamlar yoki fermentatsiya vaqtlarini fenol–antioksidant profili bo'yicha guruhlash imkonini beradi. Bu ayniqsa TPC, TFC, bir nechta individual fenollar va uch antioksidant testi bir vaqtda o'lchanganda foydalidir.

Tavsiya etiladigan eksperimental protokol

Bosqich	Amal	Asosiy ko'rsatkich
1	Press qoldig'ini bir xil partiyadan olish, urug'/po'stloq nisbatini qayd etish	Namlik, pH, quruq modda
2	Nazorat va fermentatsiya guruhlarini bir xil namlikda tayyorlash	Boshlang'ich TPC/TFC/TAC
3	Tanlangan shtamm bilan fermentatsiya	Harorat, vaqt, inokulyat, pH
4	Bir xil sharoitda ekstraksiya	Ekstraksiya chiqimi
5	TPC, TFC, TAC + HPLC/LC-MS	Fenol miqdori va profili
6	DPPH, ABTS, FRAP	Antioksidant faollik
7	Ferment faolligi va statistika	Korrelyatsiya, ANOVA, PCA

2-jadval. Fermentatsiya ta'sirini o'rganish uchun tavsiya etiladigan ketma-ketlik

Xulosa

Mikrobiologik fermentatsiya uzum press qoldig'idagi polifenollarni erkinlashtirish va biotransformatsiya qilish orqali antioksidant xususiyatlarni sezilarli o'zgartirishi mumkin. Biroq fermentatsiya samarasi faqat umumiy fenollar yoki bitta radikal test bilan baholanmasligi kerak. TPC, TFC, antosianlar, individual fenol profili, DPPH, ABTS va FRAP natijalari birgalikda, ferment faolligi va pH dinamikasi bilan bog'langan holda talqin qilinishi zarur. Zamonaviy tadqiqotlar zamburug' SSF tizimlarida eruvchan fenollarni bir necha marta oshirish, LAB fermentatsiyasida esa fenol profilini sifat jihatdan qayta shakllantirish mumkinligini ko'rsatmoqda. Mahalliy uzum press qoldig'ini o'rganishda standartlashtirilgan nazorat, quruq modda asosidagi hisob, ko'p testli antioksidant panel va xromatografik tasdiq ilmiy xulosalarning ishonchliligini keskin oshiradi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Machado N.F.L. et al. Valorization of grape pomace by microbial fermentation: composition, biological activities and potential applications for the food industry. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2025;144:107656. doi:10.1016/j.jfca.2025.107656.
2. Improving Soluble Phenolic Profile and Antioxidant Activity of Grape Pomace Seeds through Fungal Solid-State Fermentation. *Foods*. 2024;13(8):1158. doi:10.3390/foods13081158.
3. Production of grape pomace extracts with enhanced antioxidant and prebiotic activities through solid-state fermentation by *Aspergillus niger* and *Aspergillus oryzae*. *Food Bioscience*. 2021.
4. Up-Cycling Grape Pomace through Sourdough Fermentation: Characterization of Phenolic Compounds, Antioxidant Activity, and Anti-Inflammatory Potential. *Antioxidants*. 2023;12(8):1521. doi:10.3390/antiox12081521.
5. Upcycling Grape Pomace in a Plant-Based Yogurt Alternative: Starter Selection, Phenolic Profiling, and Antioxidant Efficacy on Human Keratinocytes. 2025/2026. PubMed PMID:41465000.
6. Effects of Fungal Solid-State Fermentation on the Profile of Phenolic Compounds and on the Nutritional Properties of Grape Pomace. *Microorganisms*. 2024;12(7):1310. doi:10.3390/microorganisms12071310.
7. Ferreira-Santos P. et al. Extraction of phenolic compounds from grape pomace using ohmic heating: Chemical composition, bioactivity and bioaccessibility. *Food Chemistry*. 2024;436:137780. doi:10.1016/j.foodchem.2023.137780.
8. Salta D., Wang D., Du X. Biotechnological Methods of Upcycling Grape Pomace for Food Use: A Review. *ACS Food Science & Technology*. 2026;6(1):3–14. doi:10.1021/acsfoodscitech.5c00634.
9. Bioprocessing of Grape Pomace for Value Added Ingredients with Utilization in Baked Products. *Foods*. 2026;15(1):50.