



UDK: 664.8:577.15:663.8

**FERMENTATIV ISHLOV BERISH ASOSIDA OLINGAN MEVA-
SABZAVOT EKSTRAKTLARINING ANTIOKSIDANT FAOLLIGI VA
FUNKSIONAL-TEXNOLOGIK XUSUSIYATLARINI BAHOLASH**

Buxoro davlat universiteti professori Zaripov Gulmurot Toxirovich

Tadqiqodchi Samadova Nigina Shaxobiddinovna

ANNOTATSIYA

Maqolada fermentativ ishlov berish asosida olingan meva-sabzavot ekstraktlarining antioksidant faolligi va funksional-texnologik xususiyatlarini kompleks baholash yondashuvi asoslangan. An'anaviy va fermentativ ekstraksiya variantlarini TPC, TFC, DPPH, FRAP, HPLC profili, eruvchanlik, rang, pH va termik barqarorlik bo'yicha qiyoslash taklif etilgan. Biologik faollik bilan texnologik moslikni bir vaqtda baholash funksional ichimliklar, non-qandolat va boshqa oziq-ovqat tizimlari uchun maqbul ekstrakti tanlash imkonini beradi. Taklif etilgan mezonlar fermentativ ekstraksiyaning amaliy samaradorligini asoslashga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: fermentativ ekstrakt; antioksidant faollik; DPPH; FRAP; polifenollar; funksional ingredivent; barqarorlik; oziq-ovqat texnologiyasi

ANNOTATSIYA (russkiy yazyk)

В статье обоснован комплексный подход к оценке антиоксидантной активности и функционально-технологических свойств плодово-овощных экстрактов, полученных после ферментативной обработки. Предложено сравнить традиционный и ферментативный варианты по общему содержанию фенолов и флавоноидов, DPPH, FRAP, HPLC-профилю, растворимости, свету, pH- и термостабильности. Совместная оценка биологической активности и





texnologicheskoy prigodnosti pozvolyayet vybrat ekstrakty dlya funktsionalnykh napitkov, xlebobulochnykh, konditerskix i drugix pishchevyykh produktov.

ABSTRACT

A comprehensive approach for evaluating the antioxidant activity and functional-technological properties of fruit and vegetable extracts obtained by enzyme-assisted processing is proposed. Conventional and enzymatic extracts are compared in terms of total phenolics, total flavonoids, DPPH, FRAP, HPLC profile, solubility, colour, pH stability and thermal stability. Simultaneous assessment of biological activity and technological suitability supports the selection of extracts for functional beverages, bakery, confectionery and other food systems.

Keywords: enzymatic extract; antioxidant activity; DPPH; FRAP; polyphenols; functional ingredient; stability; food technology

1. KIRISH

Fermentativ ekstraksiya samaradorligini baholashda faqat ekstrakt chiqimi yetarli mezon emas. Texnologik jihatdan yuqori chiqimga erishilgan bo'lsa-da, maqsadli antioksidantlar degradatsiyalangan yoki funksional oziq-ovqat tizimiga qo'shishda ekstraktning eruvchanligi, ta'mi, rangi va barqarorligi qoniqarsiz bo'lishi mumkin. Shu sababli fermentativ usulning haqiqiy ustunligi biologik faollik va funksional-texnologik xususiyatlarni an'anaviy ekstraksiya bilan birgalikda qiyosiy baholash orqali aniqlanadi [2–12].

Polifenollar va flavonoidlar antioksidant xususiyati turli reaksiya mexanizmlariga asoslangan. DPPH testida erkin radikalni neytrallash qobiliyati, FRAP usulida Fe^{3+} ni Fe^{2+} ga qaytarish qobiliyati baholanadi. Ikki usulning natijasi bir-birini to'ldiradi, chunki ekstrakt tarkibidagi ayrim birikmalar radikal so'ndirishda, boshqalari elektron berish reaksiyalarida kuchli bo'lishi mumkin



[15,16]. Shu bois funksional ingrediyeht sifatida baholashda kamida ikki antioksidant test qo'llanishi ilmiy jihatdan maqbul.

So'nggi tadqiqotlar fermentativ va gibrid ekstraktsiya usullarida TPC, DPPH/FRAP va maqsadli fenollar ko'payishini ko'rsatmoqda. 2025 yilda Pisco uzum siqilmasi uchun EAE va bosim ostidagi suyuqlik ekstraktsiyasi qiyoslanib, har ikki innovasion usulda antioksidantlarga boy ekstrakt olish mumkinligi ko'rsatilgan [4]. 2025 yilgi ultratovush-ferment usulida qizil va oq uzum siqilmasidan erkin hamda hujayra devori bilan bog'langan fenollarni ajratish kuchaygan [5]. 2026 yilgi olma siqilmasi ishida esa ultratovush-ferment kombinatsiyasi fenollar va eruvchan quruq moddalarni samarali ajratgan [6].

Tadqiqotning maqsadi fermentativ ishlov berish asosida olingan mevasabzavot ekstraktlarining umumiy fenol va flavonoid tarkibi, DPPH va FRAP antioksidant faolligi, HPLC fenol profili hamda funksional-texnologik ko'rsatkichlarini an'anaviy ekstraktsiya bilan qiyosiy baholash va ularning funksional oziq-ovqat mahsulotlarida qo'llash imkoniyatini asoslashdan iborat.

2. MATERIALLAR VA USULLAR

Qiyosiy tajribada bir xil xomashyo partiyasidan kamida uch xil ekstrakt tayyorlanadi: A — an'anaviy suvli yoki suv-etanolli ekstraktsiya; B — optimallashtirilgan fermentativ ekstraktsiya; C — zaruratga ko'ra fermentativ ekstraktsiyadan keyin qisqa ultratovush ishlovi berilgan gibrid variant. Barcha ekstraktlarda quruq modda konsentratsiyasi bir xil darajaga keltirilishi kerak, aks holda biologik faollikni to'g'ridan-to'g'ri qiyoslash noto'g'ri bo'ladi.

Umumiy fenollar Folin–Ciocalteu usulida gall kislotasi ekvivalentida, flavonoidlar $AlCl_3$ kompleks hosil qilish usulida kversetin ekvivalentida aniqlanadi. DPPH natijalari % ingibisiya, IC_{50} yoki μmol Trolox ekvivalentida berilishi mumkin; FRAP natijalari μmol TE/g yoki Fe^{2+} ekvivalentida





ifodalanadi. Maqolada bir xil birliklar tanlanib, barcha variantlar uchun saqlanishi shart.

Fenol profili HPLC-DAD yordamida gall, xlorogen, kofey, ferul kislotalari, katexin, epikatexin, kversetin, rutin, antosianlar yoki xomashyoga xos boshqa markerlar bo'yicha tahlil qilinadi. Agar LC-MS mavjud bo'lmasa, standart moddalar bilan retention time va UV-spektr asosida identifikatsiya qilish mumkin. Bu tahlil fermentativ ekstraksiyada «umumiy fenollar ko'paydi» degan umumiy xulosani molekulyar darajada asoslashga yordam beradi.

Funksional-texnologik xususiyatlardan ekstraktning suvda eruvchanligi, pH va haroratga barqarorligi, rang ko'rsatkichlari (L^* , a^* , b^*), qovushqoqlik va saqlash davomida TPC/DPPH saqlanish darajasi baholanadi. Agar ekstrakt non, ichimlik, yogurt yoki qandolat mahsulotiga qo'shilishi rejalashtirilsa, model oziq-ovqat tizimida 0,1–1,0% diapazonda qo'llash va sensor chegarani aniqlash maqsadga muvofiq. Bu maqolada funksional ingrediyent sifatida qo'llash istiqboli laboratoriya funksional ko'rsatkichlari bilan asoslanadi.

Termik barqarorlikni baholash uchun ekstrakt 60, 80 va 100 °C da belgilangan vaqt ushlab turilib, TPC va DPPH/FRAP saqlanishi (%) hisoblanadi. pH barqarorligi uchun pH 3,0; 5,0 va 7,0 muhitlarda 24 soatdan keyin rang va antioksidant faollikdagi o'zgarish o'lchanadi. Saqlash sinovlarida 4 °C va 20–25 °C sharoitda 7–28 kun mobaynida o'zgarish dinamikasi tekshirilishi mumkin.

Statistik tahlil uchun ANOVA va Tukey HSD ($p < 0,05$) qo'llanadi. TPC/TFC bilan DPPH/FRAP orasida Pearson korrelyatsiyasi hisoblanadi. Agar bir necha funksional ko'rsatkichlar bo'lsa, principal component analysis (PCA) orqali ekstrakt variantlarini klasterlash maqolaga qo'shimcha ilmiy qiymat beradi. PCA da komponentlar yuklamalari qaysi ko'rsatkichlar fermentativ ekstrakti nazoratdan ajratayotganini ko'rsatishi mumkin.

Variant	Ekstraksiya usuli	Qiyoslash maqsadi
---------	-------------------	-------------------



A	An'anaviy suvli/suv-etanolli	Bazaviy nazorat
B	Optimal fermentativ EAE	Ferment ta'sirining samarasi
C	EAE + qisqa ultratovush (ixtiyoriy)	Gibrid intensivlashtirish samarasi

Ko'rsatkich	Usul	Natija birligi
Umumiy fenollar	Folin-Ciocalteu	mg GAE/g
Umumiy flavonoidlar	AlCl ₃	mg QE/g
DPPH	radikal so'ndirish	% / IC ₅₀ / μ mol TE/g
FRAP	Fe ³⁺ qaytarish	μ mol TE/g
Fenol profili	HPLC-DAD	mg/g yoki mg/L
Rang	CIELAB	L*, a*, b*

3. NATIJALAR VA ULARNING MUHOKAMASI

Muhim izoh: dissertatsiya bo'yicha birlamchi eksperimental ma'lumotlar taqdim etilmagani sababli, ushbu qo'lyozmada soxta natijalar keltirilmaydi. Natijalar bo'limida adabiyotlarda tasdiqlangan qonuniyatlar, tadqiqot natijalarini qanday statistik va texnologik talqin qilish kerakligi hamda muallifning real ma'lumotlarini joylashtirish uchun tayyor jadval tuzilmalari berilgan. Nashrga yuborishdan oldin jadvallardagi «kiritiladi» maydonlari haqiqiy tajriba natijalari bilan to'ldirilishi shart.





Fermentativ ekstrakti an'anaviy variant bilan qiyoslashda birinchi mezon — quruq moddaga nisbatan biologik faol komponent konsentratsiyasi. Agar ferment ishlovi hujayra devorini samarali ochsa, TPC va TFC ning ortishi kutilgan natija hisoblanadi. Biroq faqat konsentratsiya emas, umumiy massaviy chiqim ham hisoblanishi kerak: C (mg/g ekstrakt) yuqori bo'lishi mumkin, ammo ekstrakt chiqimi past bo'lsa, 100 g xomashyodan olingan umumiy fenol massasi kutilgan darajada bo'lmasligi mumkin. Shu sababli «mg GAE/g xomashyo» va «mg GAE/g ekstrakt» ko'rsatkichlarini farqlash muhim.

DPPH va FRAP natijalarining parallel o'sishi fermentativ ishlov natijasida antioksidant faol birikmalarning ko'proq ajralib chiqqanini ko'rsatadi. Agar DPPH kuchli, FRAP esa nisbatan kam o'zgarsa, ekstraktida radikal so'ndiruvchi, ammo temirni qaytarish qobiliyati pastroq bo'lgan komponentlar ustun bo'lishi mumkin. Aksincha, FRAP ning keskin o'sishi elektron donorlik xususiyati kuchli fenollar ulushi oshganini ko'rsatishi mumkin. Shu nuqtai nazardan HPLC profili antioksidant testlarni talqin qilish uchun muhim.

Baklajan po'stlog'ida EAE optimal rejimda TPC, antosian va antioksidant faollikni an'anaviy ekstraksiyaga nisbatan oshirgan [2]. Banan po'stlog'i uchun Viscozyme yordamida olingan ekstraktida TPC, TFC, DPPH va ABTS ko'rsatkichlari yuqori bo'lgan [3]. 2026 yilgi qizil ajdar mevasi sharbati tadqiqotida pektinaza bilan ishlov berilgan namunada sharbat chiqimi bilan birga umumiy fenollar, DPPH va betasianin miqdori yaxshilangan [7]. Bu natijalar fermentativ ishlovning biologik faollikni saqlagan holda texnologik chiqimni oshirish imkonini ko'rsatadi.

Funksional-texnologik nuqtai nazardan fermentativ ekstraktning eruvchanligi va qovushqoqligi muhim. Pektin va hujayra devori polimerlari parchalanganda ekstrakt filtratsiyasi yaxshilanishi mumkin, biroq kichik molekulali qandlar va oligosaxaridlar ko'payishi gigroskopiklikni oshirishi ehtimol. Shuning uchun quruq ekstrakt olish rejalashtirilsa, liofil yoki purkab



quritishdan oldin tashuvchi modda (masalan, maltodekstrin) qo'shish zarurati alohida texnologik tadqiqot talab qiladi.

pH barqarorligi, ayniqsa antosian va betalainlarga boy ekstraktlar uchun hal qiluvchi ahamiyatga ega. Kislotali muhitda rang va antioksidant faollik yaxshi saqlanishi, neytral muhitda esa degradatsiya tezlashishi mumkin. Shu sababli bunday ekstraktlar kislotali ichimliklar, souslar yoki meva asosidagi mahsulotlar uchun mosroq bo'lishi mumkin. Fenol kislotalari va flavonollarga boy ekstraktlar esa neytralroq mahsulotlarda ham barqaror bo'lishi mumkin.

Termik barqarorlik natijalari mahsulot turini tanlashda foydalaniladi. Agar 80–100 °C ishlovdan keyin DPPH va TPC ning 80–90% dan ortig'i saqlansa, ekstrakt pasterizatsiyalanadigan ichimliklar yoki non-qandolat tizimlarida qo'llash uchun istiqbolli. Agar issiqlikda tez pasaysa, uni sovuq tayyorlanadigan funksional ichimliklar, yogurtlar yoki kapsulalangan ingrediyent sifatida ishlatish maqbul bo'lishi mumkin.

Ekstraktning oziq-ovqatda qo'llanish istiqbolini baholashda sensor omillar ham nazardan chetda qolmasligi kerak. Anor va uzum po'stlog'i ekstraktlari yuqori polifenol sabab achchiq-burishtiruvchi ta'm berishi mumkin. Shuning uchun funksional samara bilan sensor qabul qilinishi o'rtasida kompromiss konsentratsiya topiladi. Mikro kapsulalash, maltodekstrin/gummiarabik bilan quritish yoki oqsil-polisaxarid tashuvchilardan foydalanish achchiqlikni kamaytirish va barqarorlikni oshirishga xizmat qiladi.

Fermentativ texnologiyaning sanoat ahamiyati uning ekologik afzalliklari bilan ham bog'liq. Suv yoki past konsentratsiyali etanolda ishlash, organik erituvchilar sarfini kamaytirish, pastroq harorat va chiqindilarni qiymatli ingrediyentga aylantirish aylanma iqtisodiyot konsepsiyasiga mos keladi [11–13]. Biroq ferment preparati narxi, qayta ishlatish imkoniyati, fermentni inaktivatsiya qilish va ekstraktni konsentrlash xarajatlari texnologik-iqtisodiy baholashda albatta hisobga olinishi kerak.



Maqolada natijalarni integral baholash uchun «funksional samaradorlik indeksi» kabi normallashtirilgan ko'rsatkich kiritish mumkin. Masalan, TPC, DPPH, FRAP, termik saqlanish va eruvchanlik 0–1 oralig'ida normallashtirilib, bir xil yoki maqsadga mos vaznlar bilan birlashtiriladi. Bu indeks an'anaviy va fermentativ variantlarni bitta kompleks mezon bo'yicha taqqoslashga yordam beradi. Biroq vazn koeffitsiyentlari mahsulotning kelgusi qo'llanish sohasiga qarab ochiq asoslanishi lozim.

Antioksidant faollikni oziq-ovqat tizimida saqlanishi in vitro ekstrakt tahlilidan farq qilishi mumkin. Oqsillar, kraxmal, lipidlar va minerallar polifenollar bilan kompleks hosil qilib, ularning analitik aniqlanishi va bioochiqligini o'zgartiradi. Shuning uchun keyingi bosqichda tanlangan ekstrakt model mahsulotga qo'shib, ishlab chiqarishdan oldin va keyin TPC, DPPH/FRAP hamda sensor ko'rsatkichlar qiyoslanishi maqsadga muvofiq.

Ekstraktning biokiraolishini baholash imkoni bo'lsa, simulyasiya qilingan oshqozon-ichak hazm modeli qo'llanishi mumkin. Bunda og'iz, oshqozon va ichak bosqichlaridan keyin fenollar va antioksidant faollikning saqlanish darajasi aniqlanadi. Bunday ma'lumot funksional ingrediyentning faqat kimyoviy potensialini emas, iste'moldan keyingi ehtimoliy samarasini ham yaxshiroq asoslaydi.

Saqlash barqarorligida kislorod, yorug'lik va temperatura asosiy ta'sir omillaridir. Qora shisha, kislorod o'tkazmaydigan paket yoki azot muhitida qadoqlash fenollar degradatsiyasini sekinlashtirishi mumkin. Shu sababli 4 °C va xona haroratidagi saqlash sinovlari bilan birga yorug'likdan himoyalangan va oddiy sharoitlarni qiyoslash ekstraktning real shelf-life konsepsiyasini ishlab chiqishga yordam beradi.

Ekstraktning xavfsizligi ham funksional qo'llanishning ajralmas qismi. Xomashyo ikkilamchi mahsulot bo'lsa, og'ir metallar, pestisid qoldiqlari, mikotoksinlar yoki mikrobiologik ifloslanish bo'yicha nazorat talab etiladi.





Ferment preparati oziq-ovqat maqsadida ruxsat etilgan bo'lishi va ishlab chiqaruvchi ko'rsatgan tozalik mezonlariga javob berishi shart. Bu ma'lumotlar maqolaning amaliy tavsiyalar qismida qisqa qayd etilishi mumkin.

Sensor chegarani aniqlashda 5–9 ballik shkala asosida rang, hid, ta'm, burishtiruvchanlik va umumiy qabul qilinish baholanadi. Funksional doza analitik jihatdan yuqori antioksidant samara bersa-da, iste'molchi qabul qilmaydigan achchiqlik hosil qilsa, texnologik jihatdan maqbul hisoblanmaydi. Shuning uchun bioaktiv samaradorlik va sensor qabul qilinish birgalikda optimallashtirilishi kerak.

PCA va klaster tahlili ko'p ko'rsatkichli natijalarni vizuallashtirishda foydali. Agar fermentativ variant TPC, TFC, DPPH, FRAP va termik saqlanish vektorlari tomon siljisa, u funksional xususiyatlar bo'yicha nazoratdan aniq ajralib turadi. Bunday statistik vizualizatsiya maqoladagi asosiy xulosani bir qarashda ko'rsatadi va turli ekstraksiya usullarini integral taqqoslashni osonlashtiradi.

Funksional mahsulot uchun dozani tanlashda ekstrakt tarkibidagi umumiy fenol miqdori bilan birga iste'mol porsiyasiga tushadigan miqdor hisoblanishi kerak. Masalan, 0,5% ekstrakt qo'shilishi texnologik jihatdan qulay bo'lsa, 100 g mahsulotdagi qo'shimcha TPC va antioksidant faollik hisoblanib, nazorat mahsulotiga nisbatan real funksional ustunlik ko'rsatiladi. Bu yondashuv laboratoriya natijasini mahsulot miqyosiga o'tkazishda muhim.

Ekstraktning matrisa bilan o'zaro ta'siri mahsulot sifatiga ijobiy yoki salbiy ta'sir qilishi mumkin. Polifenollar oqsillar bilan bog'lanib teksturani o'zgartirishi, kraxmal fermentativ hazmini sekinlashtirishi yoki lipid oksidlanishini cheklashi mumkin. Shu sababli kelgusi bosqichda reologiya, namlik saqlanishi, rangi va saqlash davomida oksidlanish ko'rsatkichlarini mahsulot turiga mos ravishda baholash maqsadga muvofiq.



Fermentativ ekstraktning barqarorligini oshirish uchun mikrokapsulalash istiqbolli yo'nalish hisoblanadi. Maltodekstrin, gummiarabik, modifikatsiyalangan kraxmal yoki oqsil-polisaxarid komplekslari purkab quritishda devor material sifatida qo'llanishi mumkin. Inkapsulyasiya yorug'lik va kislorod ta'sirini kamaytiradi, achchiqlikni niqoblaydi va dozalashni osonlashtiradi. Shuning uchun yuqori antioksidant faol, ammo sensor jihatdan kuchli ekstraktlar uchun bu texnologiya keyingi tadqiqot bosqichi sifatida tavsiya etiladi.

Ko'rsatki ch	An'ana viy	Fermenta tiv	Gibri d (ixtiyoriy)	Statist ik belgi
TPC	kiritiladi	kiritiladi	kiritila di	p
TFC	kiritiladi	kiritiladi	kiritila di	p
DPPH	kiritiladi	kiritiladi	kiritila di	p
FRAP	kiritiladi	kiritiladi	kiritila di	p
Eruvchanl ik	kiritiladi	kiritiladi	kiritila di	p
80 °C da saqlanish, %	kiritiladi	kiritiladi	kiritila di	p

Qo'llanish sohasi	Talab etiladigan xususiyat	Texnologik izoh
------------------------------	---------------------------------------	------------------------



Funksional ichimlik	yuqori eruvchanlik, kislotali pH da barqarorlik	Antosian/betalainli ekstraktlar uchun qulay
Non-qandolat	issiqlikka barqaror antioksidantlik	Termik saqlanish va ta'm chegarasi muhim
Sut mahsuloti	neytral pH da barqarorlik, past achchiqlik	Oqsil bilan o'zaro ta'sir tekshiriladi
Quruq ingrediyent	past gigroskopiklik, yuqori saqlanish	Inkapsulyasiya yoki tashuvchi modda tavsiya etilishi mumkin

4. XULOSA

Fermentativ ishlov berish asosida olingan meva-sabzavot ekstraktlarini baholashda TPC va TFC bilan bir qatorda DPPH va FRAP, individual HPLC profili, pH/termik barqarorlik, eruvchanlik va rang ko'rsatkichlarini kompleks tahlil qilish zarur. Bunday yondashuv fermentativ ekstraksiyaning faqat miqdoriy emas, sifat va funksional ustunligini ham ko'rsatadi.

An'anaviy va fermentativ ekstraktlarni bir xil quruq modda asosida qiyoslash, natijalarni quruq xomashyoga qayta hisoblash va kamida ikki antioksidant testdan foydalanish xulosalarning ishonchliligini oshiradi. HPLC tahlili esa qaysi fenol fraksiyalarining ferment ta'sirida ko'proq ajralganini aniqlaydi.

Fermentativ ekstraktlar funksional ichimlik, non-qandolat, sut mahsulotlari yoki tabiiy antioksidant ingrediyent sifatida qo'llanishi mumkin, ammo mahsulot turini tanlashda sensor xususiyatlar va pH/issiqlik barqarorligi hisobga





olinishi kerak. Real eksperimental ma'lumotlar bilan to'ldirilganda ushbu maqola PhD dissertatsiyasining olingan ekstrakt sifatini va amaliy qo'llanishini asoslovchi uchinchi mustaqil maqolasi bo'la oladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Stanek-Wandzel N., Zarębska M., Wasilewski T. et al. Evaluation of Cellulase, Pectinase, and Hemicellulase Effectiveness in Extraction of Phenolic Compounds from Grape Pomace. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024;25(24):13538. doi:10.3390/ijms252413538.
2. Optimization of enzyme-assisted extraction of anthocyanins from eggplant (*Solanum melongena* L.) peel. *Food Chemistry: X*. 2023;18:100643. doi:10.1016/j.fochx.2023.100643.
3. Phenolic compounds and antioxidants activity of banana peel extracts: Testing and optimization of enzyme-assisted conditions. *Measurement: Food*. 2023;10:100085. doi:10.1016/j.meafao.2023.100085.
4. Poblete J., Aranda M., Quispe-Fuentes I. Efficient Conditions of Enzyme-Assisted Extractions and Pressurized Liquids for Recovering Polyphenols with Antioxidant Capacity from Pisco Grape Pomace as a Sustainable Strategy. *Molecules*. 2025;30(14):2977. doi:10.3390/molecules30142977.
5. Stanek-Wandzel N., Zarębska M., Wasilewski T. et al. Enhancing Phenolic Compound Recovery from Grape Pomace Residue: Synergistic Approach of Ultrasound- and Enzyme-Assisted Extraction. *ACS Omega*. 2025;10:23129–23138. doi:10.1021/acsomega.5c01321.
6. Nour V. Optimization of Ultrasonic Enzyme-Assisted Extraction for the Recovery of Phenolic Compounds and Soluble Solids from Apple Pomace. *Foods*. 2026;15(1):98. doi:10.3390/foods15010098.



7. Pectinase-assisted extraction of red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) juice: Process optimization and quality assessment. *Food Chemistry Advances*. 2026;10:101244. doi:10.1016/j.focha.2026.101244.
8. Ultrasonic-Assisted Enzymatic Extraction: An Innovative Technique for the Obtention of Betalains and Polyphenols from Dragon Fruit Peel. *Processes*. 2025;13(7):2307. doi:10.3390/pr13072307.
9. β -Glucanase vs cellulase for enzymatic-assisted extraction of phenolic compounds in avocado peels by-products. *Food Bioscience*. 2025;68:106777. doi:10.1016/j.fbio.2025.106777.
10. Innovative approach for phenolic extract production from pomegranate by-products: Enzymatic liquefaction and ultrafiltration. *Food Bioscience*. 2025;64:105801. doi:10.1016/j.fbio.2024.105801.
11. Hndeya A.G. Advances in Eco-Friendly Extraction of Fruit Bioactive Compounds: Technologies, Challenges and Future Directions. *Analytical Science Advances*. 2026;7(1):e70071. doi:10.1002/ansa.70071.
12. Green Extraction of Bioactive Compounds from Plant-Based Agri-Food Residues: Advances Toward Sustainable Valorization. *Plants*. 2025;14(23):3597. doi:10.3390/plants14233597.
13. Exploring Bioactive Compounds from Fruit and Vegetable By-Products with Potential for Food and Nutraceutical Applications. *Foods*. 2025;14(22):3884. doi:10.3390/foods14223884.
14. Singleton V.L., Rossi J.A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*. 1965;16:144–158.
15. Brand-Williams W., Cuvelier M.E., Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*. 1995;28(1):25–30. doi:10.1016/S0023-6438(95)80008-5.



16. Benzie I.F.F., Strain J.J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power. *Analytical Biochemistry*. 1996;239(1):70–76. doi:10.1006/abio.1996.0292.

17. Box G.E.P., Behnken D.W. Some new three level designs for the study of quantitative variables. *Technometrics*. 1960;2(4):455–475.

