

UDK: 664.8:577.15:663.8

**MEVA-SABZAVOT XOMASHYOSIGA FERMENTATIV ISHLOV
BERISHNING BIOLOGIK FAOL KOMPONENTLAR AJRALIB
CHIQUISHIGA TA'SIRINI TADQIQ ETISH**

Buxoro davlat universiteti professori

Zaripov Gulmurot Toxirovich

Tadqiqodchi

Samadova Nigina Shaxobiddinovna

ANNOTATSIYA

Maqolada meva-sabzavot xomashyosi hujayra devoriga pektinaza, syellyulaza va gemisellyulazaning selektiv ta'siri orqali biologik faol komponentlarni ajratib olish samaradorligini oshirishning ilmiy asoslari yoritilgan. Eksperimental dizaynda fermentsiz nazorat, alohida fermentlar va kompleks ferment varianti taqqoslanishi, umumiy fenollar, flavonoidlar, DPPH, FRAP va HPLC profili orqali baholash tavsiya etilgan. Adabiyotlardagi zamonaviy natijalar ferment turi maqsadli fenol fraksiyasiga tanlab ta'sir qilishini ko'rsatadi. Taklif etilgan metodika mahalliy meva-sabzavot ikkilamchi resurslaridan tabiiy antioksidant va funksional ingreedyentlar olish texnologiyasini ishlab chiqishga qaratilgan.

Kalit so'zlar: fermentativ ekstraksiya; pektinaza; syellyulaza; gemisellyulaza; polifenollar; flavonoidlar; antioksidant faollik; meva-sabzavot xomashyosi

ANNOTATSIYA (russskiy yazyk)

V statye rassmotreny nauchnyye osnovy povysheniya vыхoda biologicheskikh aktivnykh komponentov iz plodovo-ovoshnogo сыра putem selektivnogo vozdeystviya pektinazy, syellyulazy i gemisellyulazy na kletochnyuyu stenu. Predlozhenaya skema eksperimenta s kontrolem, individualnyimi fermentami i kompleksnym preparatom; osenku rekomenduyetsya provodit po obshchemu soderzhanuyu fenolov i flavonoidov, DPPH, FRAP i profilyu HPLC. Sovremennyye issledovaniya pokazivayut, chto raznyye fermenty izbiratelno usilivayut vysvobojdeniye razlichnykh fraksiy fenolnykh soyedineniy. Metodicheskii podxod prednaznachен dlya razrabotki tekhnologii polucheniya naturalnykh antioksidantov i funktsionalnykh ingreedyentov iz mestnogo plodovo-ovoshnogo сыра i pobochnykh produktov yego pererabotki.

ABSTRACT

This paper substantiates the use of pectinase, cellulase and hemicellulase to enhance the release of bioactive compounds from fruit and vegetable matrices. The proposed experimental scheme compares a non-enzyme control, individual enzymes and an enzyme blend and evaluates extraction yield, total phenolics, total flavonoids,

DPPH, FRAP and the HPLC phenolic profile. Recent studies indicate that enzyme specificity affects the type of phenolic fraction released from plant cell walls. The methodological framework can be used to develop green technologies for obtaining natural antioxidant and functional ingredients from local fruit and vegetable raw materials and processing by-products.

Keywords: enzyme-assisted extraction; pectinase; cellulase; hemicellulase; polyphenols; flavonoids; antioxidant activity

1. KIRISH

Meva-sabzavot xomashyosi va uni qayta ishlashda hosil bo'ladigan ikkilamchi resurslar polifenollar, flavonoidlar, antosianlar, fenol kislotalari, karotinoidlar, vitaminlar va boshqa biologik faol komponentlarning muhim manbai hisoblanadi. Biroq ushbu birikmalarning katta qismi o'simlik hujayra devori polisaxaridlari, pektin moddalari, syellyuloza- gemisellyuloza kompleksi yoki oqsil-polisaxarid matrisasi bilan bog'langan holda bo'ladi. Shu sababli oddiy suvli yoki spirtli ekstraksiyada xomashyodagi potensial bioaktiv moddalarning hammasi ham ekstraktga o'tmaydi. Oxirgi yillarda bu muammoni hal qilishda ferment yordamida ekstraksiyalash (enzyme-assisted extraction, EAE) «yashil» va resurs tejamkor texnologiya sifatida keng o'rganilmoqda [1–6].

Fermentativ ishlov berishning asosiy afzalligi shundaki, jarayon o'rtacha harorat va nisbatan yumshoq pH sharoitida olib boriladi. Pektinaza protopektin va pektin zanjirlarini, syellyulaza β -1,4-glikozid bog'lar orqali hosil bo'lgan syellyuloza tolalarini, gemisellyulaza esa ksilan, arabinoksilan va boshqa geteropolisaxaridlarni gidrolizlaydi. Natijada hujayra devorining mexanik barqarorligi pasayadi, kapillyarlar va diffuzion kanallar kengayadi, ekstragentning ichki to'qimalarga kirishi osonlashadi. Bu holat erkin va bog'langan fenol birikmalarining ajralib chiqishini tezlashtirib, ekstraksiya chiqimi va antioksidant faollikni oshirishi mumkin [1,5,8].

Zamonaviy adabiyotlar fermentning turi faqat umumiy ekstraksiya chiqimiga emas, balki ajratib olinadigan fenol fraksiyasining sifat tarkibiga ham ta'sir qilishini ko'rsatadi. 2024 yilda qizil uzum siqilmasida o'tkazilgan tadqiqotda gemisellyulaza fenol kislotalarini, syellyulaza katexinlarni, pektinaza esa antosianlarni ajratib olishda nisbatan samarali ekani aniqlangan [1]. Bu natija ferment tanlashda «bitta ferment – barcha xomashyo uchun» yondashuvi maqbul emasligini, balki xomashyo matrisasi va maqsadli komponent tabiati hisobga olinishi zarurligini ko'rsatadi.

O'zbekistonda uzum, anor, olma, o'rik, pomidor, sabzi va boshqa mevali-sabzavot mahsulotlarini qayta ishlash hajmi ortib borishi bilan siqilma, po'stloq, urug' va yumshoq to'qima qoldiqlarining texnologik qiymatini oshirish masalasi ham dolzarblashmoqda. Bu ikkilamchi resurslarni funksional ingrediya, tabiiy antioksidant, rang beruvchi yoki fitokomponent sifatida qayta ishlash chiqindisiz ishlab chiqarish va aylanma iqtisodiyot prinsiplariga mos keladi [11–13].

Tadqiqotning maqsadi meva-sabzavot xomashyosiga pektinaza, syellyulaza va gemisellyulaza bilan alohida va kombinatsiyalangan ishlov berishning biologik faol komponentlar ajralib chiqishiga ta'sirini ilmiy asoslash, ferment turi–hujayra devori–ekstraksiya samaradorligi o'rtasidagi bog'liqlikni baholash va keyingi texnologik optimallashtirish uchun asosiy omillarni belgilashdan iborat. Tadqiqot gipotezasiga ko'ra, fermentlarning substratga selektiv ta'siri hujayra devori matrisasini turlicha darajada destruksiyalaydi va natijada umumiy fenollar, flavonoidlar hamda antioksidant faollik ko'rsatkichlarida statistik ahamiyatli farq yuzaga keladi.

2. MATERIALLAR VA USULLAR

Tadqiqot ob'yekti sifatida polifenollarga boy va texnologik jihatdan amaliyotga yaqin xil model xomashyo tavsiya etiladi: uzum siqilmasi, anor po'stlog'i va olma siqilmasi. Namunalar qayta ishlash korxonasidan olingach, 40–45 °C dan yuqori bo'lmagan haroratda quritiladi, 0,5–1,0 mm zarra o'lchamigacha maydalanadi va germetik idishlarda 4–8 °C da saqlanadi. Xomashyoning boshlang'ich namligi, quruq moddasi va pH ko'rsatkichlari standart usullarda aniqlanadi. Turli nav va yetilish darajasi ta'sirini kamaytirish uchun har bir seriyada bir xil partiyadan foydalanish maqsadga muvofiq.

Ferment preparatlari sifatida oziq-ovqat sanoati uchun ruxsat etilgan pektinaza, syellyulaza va gemisellyulaza yoki ularni o'z ichiga olgan tijoriy multiferment kompozitsiyasi qo'llanadi. Ferment faolligi ishlab chiqaruvchi spesifikatsiyasi bo'yicha U/mL yoki U/g birliklarida qayd etiladi. Tajribada nazorat (fermentsiz), pektinaza, syellyulaza, gemisellyulaza va kompleks ferment variantlari tashkil etiladi. Dastlabki skrining uchun ferment miqdorini quruq xomashyo massasiga nisbatan 0,5; 1,0 va 1,5% darajada, haroratni 40–50 °C, pH ni 4,0–5,0, gidroliz vaqtini 60–120 minut oralig'ida tekshirish mumkin.

Fermentativ ishlov berish uchun 5,0 g quruq maydalangan namuna belgilangan gidromodul bo'yicha sitrat-fosfat bufer yoki distillangan suv bilan aralashtiriladi. pH ferment optimumiga mos holda to'g'rilanadi, namuna suv hammomida belgilangan haroratgacha yetkaziladi va ferment qo'shiladi. Gidroliz davomida aralashtirish 100–150 rpm atrofida saqlanadi. Reaksiya tugagach, fermentni inaktivatsiya qilish uchun qisqa muddatli 80–90 °C termik ishlov beriladi yoki ishlab chiqaruvchi tavsiyasiga mos rejim qo'llanadi. So'ngra ekstrakt syentrifugalanadi va tahlil uchun filtrlanadi.

Ekstraksiya chiqimi quruq qoldiq bo'yicha hisoblanadi. Umumiy fenol moddalari Folin–Ciocalteu reaktivi yordamida gall kislotasi ekvivalenti (mg GAE/g quruq massa), umumiy flavonoidlar alyuminiy xlorid usulida kversetin ekvivalenti (mg QE/g) sifatida ifodalanadi [14]. Antosianlarga boy namunalarda pH-differensial usul, individual fenol komponentlari uchun HPLC-DAD yoki HPLC-MS tahlili qo'llanishi maqsadga muvofiq. Antioksidant faollikni kamida ikki mexanizm bo'yicha — DPPH

radikalini so'ndirish va FRAP temir qaytarish qobiliyati orqali aniqlash natijalarning ishonchliligini oshiradi [15,16].

Fermentativ gidroliz samaradorligini faqat TPC va TFC bilan cheklamasdan, redusirlovchi qandlar miqdori, eritmaning qovushqoqligi va filtrlanish tezligi orqali ham baholash mumkin. Pektinaza ta'sirida qovushqoqlik pasayishi va presslash/filtrlash qobiliyati yaxshilanishi kutilsa, syellyulaza va gemisellyulaza ta'sirida eruvchan quruq moddalar hamda erkin fenol fraksiyasining o'sishi muhim diagnostik belgi bo'ladi.

Har bir tajriba kamida uch marta takrorlanadi. Natijalar o'rtacha qiymat $\pm$ standart og'ish ko'rinishida beriladi. Guruhlar o'rtasidagi farq bir omilli yoki ikki omilli ANOVA bilan tekshirilib, $p < 0,05$ darajada Tukey HSD post-xok testi qo'llanadi. Ferment turi va doza o'rtasidagi o'zaro ta'sirni baholash uchun ikki faktorli dispersion tahlil maqbul. TPC, TFC va DPPH/FRAP ko'rsatkichlari o'rtasida Pearson korrelyasiya koeffitsiyenti hisoblanadi.

Tajriba varianti	Ferment	Tavsiya etiladigan doza	Asosiy maqsad
K0	Fermentsiz	0	Nazorat ekstraksiyasi
K1	Pektinaza	0,5–1,5%	Pektin matrisasini parchalash
K2	Syellyulaza	0,5–1,5%	Syellyuloza mikrofibrillarini gidrolizlash
K3	Gemisellyulaza	0,5–1,5%	Gemisellyuloza/ksilan fraksiyasini gidrolizlash
K4	Kompleks	jami 0,5–1,5%	Sinergetik destruksiya

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 ishlov berish mexanizmini talqin qilishda birinchi navbatda xomashyo hujayra devorining kimyoviy tarkibi hisobga olinishi kerak. Uzun siqilmasida po'stloq va urug' to'qimalari syellyuloza, gemisellyuloza va pektinga boy

bo'lib, fenol moddalarining bir qismi ushbu matrisa bilan vodorod bog'lari va gidrofob o'zaro ta'sirlar orqali bog'langan. Pektinaza o'rta plastinka va pektinli syementlovchi qatlamni parchalab, hujayralar o'rtasidagi bog'lanishni susaytiradi; syellyulaza esa mikrofibril tuzilmalarni gidrolizlab, diffuziya qarshiligini kamaytiradi. Gemisellyulazaning ta'siri ksilan va arabinoksilanlar bilan bog'langan fenol kislotalarini ajratishda ayniqsa ahamiyatli bo'lishi mumkin [1].

Adabiyot natijalari mazkur mexanistik yondashuvni tasdiqlaydi. Stanek-Wandzel va hammualliflar qizil uzum siqilmasida turli gidrolitik fermentlar maqsadli fenol fraksiyalariga bir xil ta'sir qilmasligini ko'rsatgan: gemisellyulaza fenol kislotalari, syellyulaza katexinlar, pektinaza antosianlar uchun samaraliroq bo'lgan [1]. Demak, tadqiqotda faqat «umumiy fenol ko'paydi» degan xulosa bilan cheklanish ilmiy jihatdan yetarli emas; HPLC profilida qaysi birikmalarning ulushi o'zgargani ko'rsatilishi maqola yangiligini kuchaytiradi.

Baklajan po'stlog'ida ferment yordamida ekstraksiyalash bo'yicha tadqiqotda optimal rejimda umumiy ekstraksiya chiqimi, antosianlar, umumiy fenollar va antioksidant faollik oddiy erituvchili ekstraksiyaga nisbatan yuqori bo'lgan [2]. Banan po'stlog'i misolida ham ferment konsentratsiyasi, vaqt, harorat va qattiq/suyuq nisbatning TPC, TFC, DPPH va ABTS ko'rsatkichlariga sezilarli ta'sir qilishi qayd etilgan [3]. Bu ma'lumotlar fermentativ ishlov berishning universal tendensiyasini ko'rsatsa-da, optimum har bir xomashyo uchun alohida topilishi kerak.

Tajriba ma'lumotlari olingach, ularni uchta asosiy mezon bo'yicha talqin qilish tavsiya etiladi. Birinchisi — absolyut chiqim: mg GAE/g, mg QE/g yoki maqsadli HPLC komponentining mg/g miqdori. Ikkinchisi — nazoratga nisbatan o'sish koeffitsiyenti, ya'ni $K = Y_{\text{ferment}} / Y_{\text{nazorat}}$. Uchinchisi — texnologik samaradorlik, masalan, 1 g ferment preparatiga to'g'ri keladigan qo'shimcha ajratilgan fenol miqdori. Oxirgi mezon keyinchalik iqtisodiy hisob-kitob va masshtablashda muhim ahamiyatga ega.

Kompleks ferment qo'llanganda sinergetik ta'sir kuzatilishi mumkin, lekin bu doimo ham oddiy additivlikni anglatmaydi. Agar pektinaza hujayralararo pektin qatlamini ochib bersa, keyin syellyulaza va gemisellyulazaning substratga yetib borishi osonlashadi. Shu sababli aralash ferment variantda TPC va TFC yuqori bo'lishi ehtimolli. Biroq ferment dozasining ortiqcha oshirilishi iqtisodiy jihatdan samarasiz bo'lishi, ayrim fenollarning oksidlanishini tezlashtirishi yoki ekstraktda ortiqcha eriydigan polisaxaridlar to'planishi hisobiga keyingi tozalashni murakkablashtirishi mumkin.

Antioksidant faollikni talqin qilishda DPPH va FRAP natijalarining TPC bilan korrelyatsiyasi muhim. Agar $r > 0,8$ darajada musbat bog'liqlik aniqlansa, ajratib olingan fenollar antioksidant potensialning asosiy hissasini shakllantirayotgani haqida xulosa qilish mumkin. Agar TPC oshsa-da, DPPH yoki FRAP sezilarli o'zgarmasa, bu holat

fenol profilining sifat jihatdan o'zgargani, antioksidantligi past polimer fenollar ko'paygani yoki ekstrakt tarkibida interferensiya qiluvchi moddalar borligini ko'rsatishi mumkin. Shu sababli kamida ikki antioksidant test va HPLC profili birgalikda qo'llanishi maqbul.

Jarayonning amaliy ahamiyati shundaki, fermentativ ishlov berish organik erituvchilar miqdorini qisqartirish, pastroq haroratda ishlash va qayta ishlash chiqindilaridan qo'shimcha qiymatli ingrediylentlar olish imkonini beradi. 2025–2026 yillardagi tadqiqotlar ferment yordamida ekstraksiyani ultratovush, bosim ostidagi suyuqliklar yoki NaDES kabi «yashil» erituvchilar bilan birlashtirish orqali yanada yuqori samaraga erishish mumkinligini ko'rsatmoqda [4–8]. Biroq PhD ishining bazaviy bosqichida aynan ferment turi va matrisa o'rtasidagi bog'liqlikni aniqlash keyingi gibridd texnologiyalar uchun ilmiy asos vazifasini bajaradi.

Mahalliy xomashyoda olingan natijalarni xalqaro ishlar bilan to'g'ridan-to'g'ri raqamli qiyoslashda ehtiyotkorlik zarur. Chunki nav, yetilish darajasi, quritish usuli, zarra o'lchami, erituvchi tarkibi, ferment faolligi va natijani ifodalash birliklari turlicha. Shuning uchun maqolada asosiy qiyos nisbiy ko'rsatkichlar — nazoratga nisbatan foiz o'sish, optimal diapazon va fenol profilining yo'nalishli o'zgarishi bo'yicha berilsa, ilmiy jihatdan to'g'ri bo'ladi.

Ferment faolligini natijalarni taqqoslashda standartlashtirish alohida ahamiyatga ega. Tijoriy preparatlarda bir xil massadagi ferment faolligi keskin farq qilishi mumkin, shuning uchun doza faqat % ko'rinishida emas, imkoni boricha U/g xomashyo yoki U/mL reaksiya muhitda ham qayd etilishi lozim. Bu yondashuv tadqiqotning qayta takrorlanuvchanligini oshiradi va boshqa laboratoriyalar natijalari bilan to'g'ri qiyoslash imkonini beradi. Agar ishlab chiqaruvchi bir nechta ferment faolligini bersa, asosiy faollik bilan birga yordamchi pektolitik yoki gemisellyulolitik faollik ham qayd etilishi maqsadga muvofiq.

Xomashyoning dastlabki tayyorlanishi ferment ta'siriga sezilarli ta'sir ko'rsatishi mumkin. Maydalanish darajasi kichrayganda umumiy yuza maydoni ortadi va ferment-substrat kontakti yaxshilanadi, biroq haddan tashqari mayda zarralar filtratsiyani qiyinlashtirishi mumkin. Quritish usuli ham muhim: yuqori haroratda quritish fenollarning qisman oksidlanishi yoki polimerlanishiga olib kelsa, past haroratli quritish bioaktiv profilni yaxshiroq saqlaydi. Shuning uchun eksperimentda zarra o'lchami va quritish rejimi doimiy nazorat omili sifatida ushlanishi kerak.

Bog'langan fenollar masalasi fermentativ ekstraksiyaning ilmiy yangiligini kuchaytirishi mumkin. O'simlik matrisasida fenol birikmalarining bir qismi hujayra devori polisaxaridlari bilan efir yoki glikozid bog'lari orqali birikkan. Syellyulolitik va gemisellyulolitik gidroliz ushbu matrisaga kirishni osonlashtirib, keyingi ekstraksiya bosqichida avval ajralmagan fraksiyalarni chiqarishi mumkin. Agar imkoniyat bo'lsa, erkin va bog'langan fenol fraksiyalarini alohida aniqlash maqola qiymatini oshiradi.

Mikrostrukturaviy tasdiq ferment ta'siri mexanizmini yanada ishonchli ko'rsatadi. SEM, optik mikroskopiya yoki konfokal mikroskopiya orqali nazorat va ferment bilan ishlangan to'qimalarda hujayra devori butunligi, g'ovaklik va yuza morfologiyasi qiyoslanishi mumkin. Agar bunday uskuna mavjud bo'lmasa, qovushqoqlik, filtrlanish vaqti va eruvchan quruq moddalarning o'sishi morfologik destruksiyaning bilvosita texnologik markerlari sifatida xizmat qiladi.

Fermentativ ishlov natijasida ayrim glikozidlangan fenollarning aglikon shakllarga o'tishi ham ehtimol. Bu holat umumiy fenol miqdori katta o'zgarmagan sharoitda antioksidant faollikning oshishini izohlashi mumkin. Shu sababli HPLC profilida faqat absolyut konsentratsiya emas, birikmalar nisbati va yangi piklar paydo bo'lishi ham muhokama qilinishi kerak. Bu yerda ferment preparatidagi yordamchi β -glyukozidaza faolligi ham hisobga olinadi.

Texnologik nuqtai nazardan eng yaxshi variant maksimal TPC bergan variant emas, balki ferment sarfi, gidroliz vaqti, ekstrakti ajratish osonligi va keyingi konsentrlash xarajatlari bo'yicha umumiy samarador variant hisoblanadi. Shu bois keyingi bosqichda 1 kg quruq xomashyoga to'g'ri keladigan ferment sarfi, olingan quruq ekstrakt massasi va shartli bioaktiv modda chiqimi asosida moddiy balans tuzish maqsadga muvofiq. Bunday hisob-kitob laboratoriya natijalarini sanoat texnologiyasiga bog'laydi.

Ko'rsatkich	Nazorat	Pektinaza	Syellyulaza	Gemisellyulaza	Kompleks
Ekstraksiya chiqimi, %	kiritiladi	kiritiladi	kiritiladi	kiritiladi	kiritiladi
TPC, mg GAE/g	kiritiladi	kiritiladi	kiritiladi	kiritiladi	kiritiladi
TFC, mg QE/g	kiritiladi	kiritiladi	kiritiladi	kiritiladi	kiritiladi
DPPH, % yoki $\mu\text{mol TE/g}$	kiritiladi	kiritiladi	kiritiladi	kiritiladi	kiritiladi
FRAP, $\mu\text{mol TE/g}$	kiritiladi	kiritiladi	kiritiladi	kiritiladi	kiritiladi

Manba/matriza	Ferment yoki texnologiya	Asosiy ilmiy natija
Uzum siqilmasi, 2024	Syellyulaza, pektinaza, gemisellyulaza	Fermentlar turli fenol fraksiyalarini selektiv ajratgan; EAE nazoratga nisbatan TPC va antioksidantlikni oshirgan [1].
Baklajan po'stlog'i, 2023	Syellyulaza asosida EAE	Optimal EAE umumiy chiqim, antosian, TPC va antioksidant faollikni oshirgan [2].

Banan po'stlog'i, 2023	Viscozyme, syellyulaza, pektinaza	Ferment konsentratsiyasi, vaqt, harorat va S/L nisbati TPC, TFC va antioksidantlikka ta'sir qilgan [3].
Olma siqilmasi, 2026	Ultratovush + ferment	Fenollar va eruvchan quruq moddalarni ajratish samaradorligi oshgan [6].

4. XULOSA

Pektinaza, syellyulaza va gemisellyulaza meva-sabzavot xomashyosi hujayra devorining turli polisaxarid fraksiyalariga selektiv ta'sir ko'rsatishi tufayli biologik faol moddalarni ajratib olish samaradorligi ferment turiga bog'liq holda o'zgaradi. Shu nuqtai nazardan ferment tanlash maqsadli komponent — fenol kislotasi, katexin, antosian yoki umumiy flavonoidlar tabiati bilan uyg'unlashtirilishi kerak.

Tadqiqotda TPC, TFC, DPPH va FRAP ko'rsatkichlarini HPLC profili, qovushqoqlik va redusirlovchi qandlar bilan birgalikda baholash fermentativ destruksiya mexanizmini kompleks ifodalash imkonini beradi. Olingan natijalar keyingi bosqichda ferment dozaci, pH, harorat, vaqt va gidromodulni matematik optimallashtirish uchun asos bo'ladi.

Fermentativ ekstraksiya mahalliy meva-sabzavot ikkilamchi resurslarini tabiiy antioksidantlar va funksional ingrediventlar manbaiga aylantirish uchun texnologik jihatdan istiqbolli yechimdir. Nashr variantida ushbu qo'lyozmadagi tayyor tahlil sxemasi muallifning haqiqiy eksperimental ko'rsatkichlari bilan to'ldirilganda, maqola dissertatsiyaning birinchi eksperimental bosqichini to'liq yoritishi mumkin.

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.meafoo.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.