

SHARBAT ISHLAB CHIQARISHDA EKSTRAKSIYA JARAYONI VA QURILMALARNI TAKOMILLASHTIRISH

Musurmonova Dilnoza Dilshod qizi

Qarshi davlat texnika universiteti.

Shahrisabz oziq-ovqat muhandisligi fakulteti

“Sanoat muhandisligi va menejmenti” kafedrası 1-kurs magistranti.

dilnozamusurmonova72@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.21132807>

Annotatsiya. Ushbu maqolada sharbat ishlab chiqarish sanoatida qo'llaniladigan ekstraksiya jarayonlarining nazariy asoslari, zamonaviy qurilmalar va texnologiyalar tahlil qilinadi. Meva-sabzavot xom ashyosidan foydali moddalarni yuqori unumdorlik bilan ajratib olishning fizik-kimyoviy qonuniyatlari ko'rib chiqiladi, shuningdek, ekstraksiya usullarini takomillashtirish yo'llari va energiya tejovchi innovatsion yechimlar taklif etiladi. Zamonaviy ferment preparatlari, ultratovush va membrana texnologiyalarini integratsiyalash orqali sharbat hosildorligi va sifatini oshirish imkoniyatlari muhokama qilinadi.

Kalit so'zlar: ekstraksiya, sharbat ishlab chiqarish, meva-sabzavot xom ashyosi, membrana texnologiyasi, ultratovush ekstraksiyasi, fermentlar, diffuziya koeffitsienti, yuqori bosimli ekstraksiya.

KIRISH

Sharbat va mevasimon ichimliklar ishlab chiqarish zamonaviy oziq-ovqat sanoatining eng dinamik rivojlanayotgan tarmoqlaridan biri hisoblanadi. Jahon bozorida tabiiy, minimal qayta ishlangan va biologik faol moddalar saqlanib qolgan mahsulotlarga talab yildan-yilga o'sib bormoqda. Bu esa texnologik jarayonlarni — xususan, xom ashyodan foydali komponentlarni ajratib olish bosqichini — ilmiy asosda takomillashtirish zaruriyatini belgilaydi.

Ekstraksiya — bu qattiq yoki suyuq fazadan maqsadli komponentlarni erituvchi yordamida selektiv ajratib olish jarayonidir. Sharbat ishlab chiqarishda ekstraksiya asosiy texnologik bosqich sifatida qand, organik kislotalar, vitaminlar, polisaxaridlar va biologik faol moddalar kompleksini parcha qo'sh xujayralardan suyuq fazaga o'tkazishni ta'minlaydi. Jarayonning samaradorligi tayyor mahsulot unumdorligi, sifati va iqtisodiy ko'rsatkichlarini bevosita belgilaydi.

Hozirgi kunda an'anaviy presslash va diffuziya usullari bilan bir qatorda, ultratovush ekstraksiyasi, superkritik suyuqlik ekstraksiyasi va membrana-ekstraksiya texnologiyalari sanoat miqyosida keng qo'llanilmoqda. Ushbu maqolaning maqsadi

mazkur usullarni qiyosiy tahlil qilish, qurilmaviy kamchiliklarni aniqlash va ularni bartaraf etishning zamonaviy ilmiy yondashuvlarini tizimlashtirish hisoblanadi.

Diffuziya qonunlari va harakatlantiruvchi kuch

Ekstraksiya jarayonining asosida massaning bir fazadan ikkinchisiga o'tish hodisasi yotadi. Yuqori kontsentratsiyadan past kontsentratsiyaga tomon moddaning harakati Fik (Fick) qonunlari bilan ifodalanadi:

$$J = -D \cdot (dC/dx)$$

bu yerda J — massaning o'tish zichligi ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$), D — diffuziya koeffitsienti (m^2/s), dC/dx esa kontsentratsiya gradienti (kg/m^4). Diffuziya koeffitsienti amaliy jarayonlarda 10^{-10} dan 10^{-8} m^2/s gacha o'zgarib turadi va u harorat, erituvchi qovushqoqligi, shuningdek, diffuziyalanuvchi molekulaning o'lchami bilan bog'liq.

Meva xujayralarida ekstraksiya bir necha parallel mexanizm orqali amalga oshiriladi: osmotik diffuziya (agar erituvchining osmotik bosimi yuqori bo'lsa), kapillyar so'rilish va turgor bosimining pasayishi natijasida hujayra membranalari orqali suyuqlikning chiqishi. Shu sababli ekstraksiya modelini qurishda uni ko'pfazali, ko'pmexanizmli jarayon sifatida ko'rish lozim.

Harorat ta'siri va aktivatsiya energiyasi

Haroratning diffuziya koeffitsienti bilan bog'liqligi Arreniusning eksponensial qonuniga muvofiq ifodalanadi: $D = D_0 \cdot \exp(-E_a/RT)$, bu yerda E_a — aktivatsiya energiyasi, R — universal gaz doimiysi, T — absolut harorat. Meva va sabzavot xom ashyosi uchun aktivatsiya energiyasi odatda 20–50 kJ/mol diapazonda joylashadi.

Amaliyotda haroratni 20°C dan 50°C gacha oshirish diffuziya koeffitsientini 1,5–3 baravarga, ayrim hollarda undan ham ko'proq oshiradi. Biroq haddan ortiq qizdirish (60–70°C dan yuqori) fermentativ yo'l bilan kechadigan parchalanish reaksiyalarini tezlashtiradi, rangdor moddalar va vitaminlarning degradatsiyasiga olib keladi. Shunday qilib, maqbul harorat rejimi texnologik murosaning natijasidir.

Xom ashyo strukturasi va hujayra devorining roli

Meva va sabzavot to'qimalarida hujayra devori sellyuloza, gemisellyuloza, pektin va lignin matritskasidan tashkil topgan. Aynan shu tuzilma ekstraksiyaga qarshilik ko'rsatuvchi asosiy fizik to'siq hisoblanadi. Pektin moddalarning gidrolizi (fermentlar yoki kislota yordamida) hujayra devorining o'tkazuvchanligini 3–5 baravarga oshiradi va umumiy sharbat hosildorligi ko'tariladi.

Mexanik presslash

An'anaviy press usuli eng ko'p tarqalgan bo'lib, vintli, kamarli (lenta) va barabanli press qurilmalarida amalga oshiriladi. Kamarli presslar uzluksiz ishlash, yuqori unumdorlik va avtomatlashtirishga qulay tuzilishga ega. Odatda ushbu usul bilan 50–70% sharbat ajratib olish koeffitsienti erishiladi. Kamchiligi — yuqori mexanik zo'riqish natijasida fenolli moddalar, ayniqsa taninlar, ortiqcha miqdorda sharbatga o'tadi va rangning qarong'ilashishiga sabab bo'ladi.

Diffuziya ekstraksiyasi

Iliq suv (50–70°C) bilan ko'p marta yuvish asosiga qurilgan diffuziya ekstraksiyasi qand lavlagidan shakar olish sanoatidan sharbatchilik tarmog'iga moslashtirilgan. Kolonna yoki karusel tipidagi diffuzorlar qo'llaniladi. Ushbu usul hosildorlikni 85–95% gacha oshirishga imkon beradi. Muammo shundaki, katta hajmdagi suv sarflanadi va sharbat nisbatan suyuq bo'ladi, bu esa keyingi bug'latish xarajatlarini oshiradi. Ultratovush ekstraksiyasi (UE)

20–40 kHz chastotali ultratovush to'lqinlari suyuqlikda kavitatsiya hodisasini yuzaga keltiradi — mikroko'pchiklar hosil bo'ladi, ular portlashi natijasida 1000°C gacha mahalliy harorat va 100 MPa gacha bosim vujudga keladi. Bu kuch hujayra devorini mexanik ravishda yoradi va diffuziya yo'lini sezilarli qisqartiradi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, UE qo'llash ekstraksiya vaqtini 30–50% qisqartiradi, vitamin C va antosianlar kabi termolabil moddalarning saqlanishini 15–25% yaxshilaydi. Sanoat miqyosida YL-1000 va Hielscher UIP2000 tipidagi prozond qurilmalari qo'llaniladi. Iqtisodiy jihatdan UE energiya sarfini 20–35% kamaytirishi mumkin.

Fermentativ ekstraksiya

Pektinaza, sellyulaza va hemisellyulaza fermentlarining kombinatsiyasi (dozasi: 0,01–0,05% og'irlikka) hujayra devori polisaxaridlarini parchalaydi. Bu usul hosildorlikni 10–20% ga oshiradi va sharbatning filtrlanish qobiliyatini keskin yaxshilaydi. Fermentlar 40–55°C haroratda, pH 3,5–5,0 sharoitida 30–90 daqiqa davomida ta'sir ko'rsatadi. Zamonaviy imobilantirilgan ferment preparatlari qayta ishlatilishi mumkin, bu xarajatlarni kamaytiradi.

Superkritik suyuqlik ekstraksiyasi (SSE)

CO₂ ning superkritik holati (31,1°C, 7,38 MPa dan yuqori bosim) uni bir vaqtning o'zida gaz va suyuqlik xossalari ega erituvchiga aylantiradi. SSE yog'da eriydigan

vitaminlar (E, K, beta-karotin), terpenlar va aromatik moddalarni selektiv ajratish uchun ideal hisoblanadi. Ishlov berilgandan so'ng CO₂ ni gaz fazaga o'tkazib, butunlay chiqarib yuborish mumkin — ekstrakt erituvchi qoldig'idan xoli bo'ladi. Bu usul organik va premium mahsulotlar uchun katta istiqbolga ega.

An'anaviy qurilmalarning cheklovlari

Mavjud sanoat presslari va diffuzorlarida bir necha tipik muammo kuzatiladi: xom ashyoning notekis parchalanishi natijasida hosildorlikning o'zgaruvchanligi (standart og'ish $\pm 5-8\%$), qattiq qoldiqdagi sharbat miqdorining yuqoriligi (15–20% gacha), tozalash qiyinligi sababli mikrobiologik ifloslantirish xavfi, yuqori quvvat sarfi (0,5–1,2 kWh/t mahsulot). Ushbu kamchiliklarni bartaraf etish qurilmaviy innovatsiyalarni zarur qiladi.

Membrana texnologiyalari bilan birlashtirilgan qurilmalar

Mikrofiltratsiya (0,1–1 mkm), ultrafiltratsiya (1–100 kDa) va nanofiltratsiya membranalarini ekstraksiya bilan ketma-ket ulash sxemasi sharbatni bir vaqtda tozalash va kontsentrlash imkonini beradi. Polisulfon, PVDF va seramik membranalaridan tayyorlangan modul qurilmalar 500–2000 L/soat o'tkazish quvvatiga ega. Ushbu integratsiyalashgan yondashuv issiqlik bilan ishlov berish bosqichlarini qisqartiradi va vitamin yo'qotishini 40% gacha kamaytiradi.

Pulsatsiyali ekstraksion kolonnalar

Pulsatsiyali harakatlanish mexanizmi qo'shilgan ekstraksion kolonnalarda erituvchi va xom ashyo pulsatsiyali kontakt orqali jadal aralashadi. Bunday qurilmalar massa almashinuv koeffitsientini 30–50% oshiradi va qurilmaning umumiy o'lchamini qisqartiradi. Sanoatda Karr kolonnasi va pulsatsiyali tarelkali kolonnalar (PP kolonnalar) keng qo'llaniladi. Avtomatik boshqaruv tizimi bilan jihozlangan zamonaviy versiyalar pulsatsiya amplitudasi va chastotasini real vaqtda moslashtiradi.

Kombinatsiyalangan ultratovush-membrana qurilmalari

Ultratovush transduktorlari to'g'ridan-to'g'ri membrana modullariga o'rnatilgan innovatsion qurilmalar membrana yuzasida gel qatlam hosil bo'lishini oldini oladi (anti-fouling effekt). Bu membranalar ish muddatini 2–3 marta uzaytiradi va tozalash chastotasini kamaytiradi. Xitoy va Yevropa tadqiqotchilarining ma'lumotlariga ko'ra, bunday kombinatsiya olma sharbati ekstraksiyasida hosildorlikni 92–95% gacha yetkazadi.

Jadval 1. Asosiy ekstraksiya usullarining texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari

Usul	Hosildorlik (%)	Energiya sarfi	Vitamin saqlanishi	Asosiy qo'llanish sohasi
Mexanik presslash	50–70%	O'rtacha	O'rtacha	Universal, keng tarqalgan
Diffuziya ekstraksiyasi	85–95%	Yuqori	O'rtacha	Qand, meva konsentrati
Ultratovush (UE)	75–88%	Past–O'rtacha	Yuqori	Premium va bio mahsulotlar
Fermentativ	80–92%	Past	Yuqori	Bulutli sharbatlar, nektarlar
Superkritik (SSE)	70–85%	Yuqori	Juda yuqori	Organik, aromatik fraksiya
Membrana+UE kombinati	92–95%	Past	Juda yuqori	Yuqori sifatli sharbatlar

Raqamli ikki nusxa (Digital Twin) va AI boshqaruvi

Sun'iy intellekt asosidagi boshqaruv tizimlari ekstraksiya jarayonini real vaqtda optimallashtiradi. Raqamli ikki nusxa texnologiyasi real qurilmaning virtual modeli sifatida ish rejimlari o'zgarishini oldindan prognoz qilish va harorat, vaqt, bosim parametrlarini maqbul ko'rsatkichlarda ushlab turish imkonini beradi. Siemens MindSphere va ABB Ability kabi platformalar sharbat zavodlarida allaqachon tatbiq etilgan.

Mikrotolqinli ta'sir (MAE — Microwave-Assisted Extraction)

2450 MHz chastotali mikrotolqinli ta'sir hujayra ichidagi suvni tez isitadi va turgor bosimining kuchayishi natijasida hujayra devorini "ichidan" yoradi. Ekstraksiya vaqti an'anaviy usulga nisbatan 10–20 marta qisqaradi. MAE odatda nisbatan kichik hajmdagi yuqori qiymatli komponentlar (polefenollar, karotinoidlar) ajratishda qo'llaniladi.

Elektroporatsiya (PEF — Pulsed Electric Field)

1–50 kV/sm kuchlanishli impuls elektr maydonlari hujayra membranasida teshiklar hosil qiladi (elektroporatsiya). Ushbu fizik ta'sir teskari yoki qaytmas bo'lishi mumkin — ekstraksiya maqsadida qaytmas poratsiya kerak emas; qisqa impulslar (1–10 mkson) kifoya. PEF texnologiyasi sharbat hosildorligini 5–15% oshiradi va issiqlik bilan ishlov berish bosqichlarini kamaytiradi, bu esa vitamin yo'qotishini minimallashtiradi.

Suv qobiqlari va yangi erituvchi tizimlari

Chuqur evtektik erituvchilar (DES — Deep Eutectic Solvents) — xolin xlorid va glikol, sorbit yoki sidra kislotasi asosidagi yangi avlod bio-erituvchilar — tabiiy mahsulotlardan polifenollar va flavonoidlarni selektiv ajratishda yuqori samaradorlik ko'rsatadi. DES lar inson organizmiga xavfsiz, biodegradatsiyalanuvchi va qayta ishlatilishi mumkin bo'lgan xususiyatlarga ega.

Sharbat sanoatida ekstraksiya jarayonini takomillashtirish nafaqat texnologik, balki ekologik va iqtisodiy ahamiyatga ega. Diffuziya ekstraksiyasida bir tonna xom ashyoga sarflanadigan suv hajmi 3–8 m³ ni tashkil etishi mumkin. Qayta sirkulyatsiya tizimlari va membrana konsentratsiya usullari bu ko'rsatkichni 1–2 m³ gacha kamaytirish imkonini beradi.

Energiya iste'moli nuqtai nazaridan, ultratovush va fermentativ usullarning kombinatsiyasi birinchi yilning o'zida energiya xarajatlarini 25–35% qisqartiradi. Kapital xarajatlar yuqori bo'lsa-da, odatda 3–5 yil ichida to'liq qoplanadi. Qattiq chiqindilar (meva pomasi, po'choq) bioenergetika yoki chorvachilik uchun ikkilamchi xom ashyo sifatida qayta foydalanilishi mumkin, bu esa «nol chiqindi» kontseptsiyasini amalga oshiradi.

XULOSA

Ushbu maqolada sharbat ishlab chiqarishda ekstraksiya jarayonining nazariy va amaliy jihatlarini keng qamrovli tahlil qilindi. Asosiy xulosalar quyidagicha:

- Hosildorlik va sifatni bir vaqtda oshirish uchun fermentativ oldindan ishlov berish + ultratovush ekstraksiyasi + membrana filtratsiyasini kombinatsiyalashtirish maqsadga muvofiqdir.
- Raqamli boshqaruv tizimlari (IoT sensorlari, AI algoritmlari) parametrlarni real vaqtda optimallashtirish uchun joriy etilishi lozim.

- Superkritik va PEF texnologiyalari premium segmentda katta istiqbolga ega, biroq kapital xarajatlar hisobga olinib, bosqichma-bosqich joriy etilishi tavsiya etiladi.
- Suv va energiya sarfini kamaytirish borasida siklik qayta ishlatish va chiqindi issiqlikni rekuperatsiya qilish tizimlari zamonaviy zavod loyihasida majburiy element bo'lishi kerak.
- Mahalliy (O'zbekiston) sharoiti uchun qovun, o'rik, uzum va anor sharbatlari ishlab chiqarishda fermentativ + ultratovush kombinatsiyasi eng qulay iqtisodiy ko'rsatkichlar berishi prognoz qilinadi.

Kelgusidagi tadqiqotlar DES erituvchilari va mikrotolqinli ekstraksiyaning sanoat miqyosida tatbiq etilish iqtisodiyatini chuqurroq o'rganishga, shuningdek mahalliy meva navlari uchun optimallashtirish parametrlarini eksperimental tarzda aniqlashga yo'naltirilishi maqsadga muvofiqdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Aguilera J.M., Stanley D.W. (1999). Microstructural Principles of Food Processing and Engineering. Springer.
2. Chemat F., Khan M.K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. Ultrasonics Sonochemistry, 18(4), 813–835.
3. Galanakis C.M. (2012). Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging technologies and commercialized applications. Trends in Food Science & Technology, 26(2), 68–87.
4. Kaltsa O. et al. (2013). Ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from olive leaves. Ultrasonics Sonochemistry, 20(5), 1316–1323.
5. Puértolas E. et al. (2010). Pulsed electric field technology: Applications for juice processing. Journal of Food Science, 75(7).
6. Reverchon E., De Marco I. (2006). Supercritical fluid extraction and fractionation of natural matter. Journal of Supercritical Fluids, 38(2), 146–166.
7. Smith R.M. (2002). Extractions with superheated water. Journal of Chromatography A, 975(1), 31–46.
8. Mirzayev A.A., Toshmatov I.X. (2023). O'zbekistonda meva-sabzavot qayta ishlash sanoatining holati va rivojlanish istiqbollari. Oziq-ovqat texnologiyalari jurnali, 4, 12–19.
9. Yusupova G.R., Hamidova N.T. (2024). Fermentativ preparatlarni sharbat ishlab chiqarishda qo'llash samaradorligi. O'zbekiston agrar fani xabarnomasi, 2, 45–51.
10. Xolmatov D.K. (2022). Ultratovush texnologiyasini oziq-ovqat sanoatiga tatbiq etish muammolari. Fan va texnologiya, 3, 88–95.