SUYULTIRILGAN ERITMALARDA INULINNING YUQORI MOLEKULYAR TUZILMALARINING SHAKLLANISHI

Abdullayev Otabek Husenovich
Iqtisodiyot va pedagogika universiteti NTM t.f.f.d.Pd v.b professor
Baratov Ilxom O‘ktamovich
Toshkent kimyo-texnologiya instituti mustaqil-tadqiqotchisi
Abduyusupov Ro'zimurod
O'zbekiston kimyo farmatsevtika ilmiy tadqiqod Instituti
Xusenov Arslonnazar Shernazarovich
Toshkent kimyo-texnologiya instituti professori
E-mail: sytk@tkti.uz,
Tel:998909182564

Annotatsiya. Inulin saqlovchi o‘simlik xomashyosi asosida funksional oziq-ovqat mahsulotlarini yaratish aholining diabetik yo‘nalishdagi funksional ovqatlanishini ta’minlash imkonini beradi. Shu munosabat bilan, topinambur (*Helianthus tuberosus L.*) tugunaklaridan inulinni olish jarayonining texnologik parametrlarini uning miqdoriy ko‘rsatkichlarini aniqlash orqali asoslash dolzarb masala hisoblanadi. Ushbu ishda topinambur tugunaklaridan inulinni olish jarayonining texnologik parametrlarini asoslash maqsadida uni fleş-ekstraksiya va an’anaviy usullar yordamida olish orqali sifat ko‘rsatkichlari — eritmadagi gidrodinamik xossalari hamda molekulyar massasi aniqlangan.Topinambur inulini namunalari uchun olingan gidrodinamik xossalar va molekulyar massa natijalari shuni ko‘rsatdiki, yuqori haroratda (105 °C) qisqa yoki nisbatan uzoq vaqt davomida fleş-ekstraksiya usuli bilan, shuningdek 75 °C haroratda neytral muhitda an’anaviy usul bilan olingan inulin o‘z-o‘zidan agregatlanish xususiyatiga ega biopolimerdir.Fleş-ekstraksiya yo‘li bilan olingan inulin ikki fraksiyadan iborat: past molekulyar inulin va yuqori molekulyar agregat, ya’ni polisaxarid kompleksidan tashkil topgan tuzilma. Bu agregatlar eritmada inulinning turli fraksiyalari o‘rtasidagi yoki molekula ichidagi o‘zaro ta’sirlar natijasida shakllanishi mumkin. Kutilganidek, bunday agregatlarni oddiy usullar bilan ajratib bo‘lmaydi; UYeF-membranada kontsentratsiyalash jarayonida bir qator subfraksiyalar hosil bo‘ladi va suvda erimaydigan mikrogellar shakllanadi.An’anaviy usulda olingan inulin esa bitta fraksiyadan iborat bo‘lib, yuqori darajadagi polidisperslikka ega. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, oziq-ovqat va profilaktik maqsadlar uchun mo‘ljallangan sifatli inulinni olishda qisqa vaqt davom etuvchi fleş-ekstraksiya usulini qo‘llash maqsadga muvofiqdir.

Kalit so‘zlar: topinambur, inulin, fleş-ekstraksiya, molekulyar massa, konformatsiya, agregatsiya.

ISSN 3030-3907

Аннотация. Создание функциональных пищевых продуктов на основе инулинсодержащего растительного сырья позволит обеспечить население функциональным питанием диабетического характера. В связи с этим обоснование технологических параметров процесса получения инулина из клубней топинамбура (Helianthus tuberosus L.) путем определения его количественных характеристик является актуальным. В данной работе с целью обоснования технологических параметров процесса получения инулина из клубней топинамбура флэш-экстракционным и традиционным ме-тодами были установлены его качественные характеристики, а именно гидродинамические свойства и молекулярная масса в растворе. Результаты гидродинамических свойств и молекулярной массы образцов инулина топинамбура, полученные флэш-экстракционным методом при высокой температуре 105 °C за короткое и более длительное время, традиционным методом при температуре 75 °C в нейтральной среде, продемонстрировали самоагрегирующие свойства этого биополимера. Инулин, экстрагированный флэш-экстракционным способом, состоит из двух фракций: низкомолекулярного инулина и высокомолекулярного агрегата, который представляет собой комплекс полисахарида. Эти агрегаты могут формироваться как ежмолекулярными, так и внутримолекулярными взаимодействиями различных фракций инулина в растворе. Как и следовало ожидать, их разделение невозможно обычными методами, при концентрировании на УФ-мембране формировался ряд субфракций, образовывалось большое количество агрегированного не растворимого в воде микрогеля. В то время как инулин, полученный традиционным способом, состоит изодной фракции, но имеет высокую степень полидисперсности. Показано, что для получения каче- ственного инулина, предназначенного для пищевых и профилактических целей, предпочтительноиспользовать флэш-метод экстракции за короткое время.

Ключевые слова: топинамбур, инулин, флэш-экстракция, молекулярная масса, конформация, агрегация

Abstract. The creation of functional food products based on inulin-containing vegetable raw materials canprovide the population with functional diabetic nutrition. In this regard, investigation of the technological parameters of obtaining inulin from Jerusalem artichoke tubers (Helianthus tuberosus L.) and determination of its quantitative characteristics seem highly relevant. This study aims to determine the qualitative characteristics of inulin obtained from Jerusalem artichoke tubers by both flash extraction and conventional methods. Jerusalem artichoke inulin samples were obtained by the flash extraction method at a high temperature of105 °C during both shorter and longer periods of time and by the

ISSN 3030-3907

conventional method at a temperature of75 °C in a neutral medium. The hydrodynamic properties and molecular weight of the samples demonstrated the self-aggregating properties of this biopolymer. Inulin obtained by the flash extraction method consists of two fractions: low-molecular weight inulin and high-molecular weight aggregate represented by a polysac charide complex. These aggregates can be formed both by inter- and intramolecular interactions of variousinulin fractions in the solution. As expected, their isolation using conventional methods appeared impossible:the method of concentration yielded a number of subfractions on the UV membrane and a large amount of aggregated water-insoluble microgel. At the same time, inulin obtained by the conventional method consists of one fraction, although having a high degree of polydispersity. In order to obtain high-quality inulin intendedfor nutritional and prophylactic purposes, it is preferable to use the flash extraction method over short periodsoftime.

Keywords: Jerusalem artichoke, inulin, flash extraction, molecular weight, conformation, aggregation

KIRISH

Inulin — bu o‘simlik kelib chiqishiga ega tabiiy insulinning analogi bo‘lib, ko‘plab o‘simliklarda uchraydigan zahira polisaxarid hisoblanadi. U shikoriy ildizi, bug‘doy, sparja, piyoz, sarimsoq, georgina va topinambur (*Helianthus tuberosus L.*) kabi o‘simliklarda mavjud [1]. Ma’lumki, inulin — bu chiziqli polidispers fruktan bo‘lib, fruktoza molekulalaridan tashkil topgan va ularning β(2→1)-bog‘lari orqali D-glyukozaning oxirgi qoldig‘iga ulanadi (polimerlanish darajasi (PD) — 2 dan 60 gacha va undan yuqori) [2, 3]. Tabiatda inulinning bir necha turlari mavjud bo‘lib, ular polimerlanish darajasi va molekulyar massasi bilan farqlanadi. Bu ko‘rsatkichlar inulinning manbai, yig‘ib olish va qayta ishlash sharoitlariga bog‘liq [1–6].Inulinning miqdori shikoriy va topinamburda 20% gacha, o‘t ildizi, petrushka, suli ildizi, georgina tugunaklari, uzunpiyozda 15% gacha, bosh piyozda 2–6%, sparjada 10–15%, devyasil o‘simligida 9–12%, bananda 0,3–0,7%, bug‘doy va guruch unida esa 1–4% gacha bo‘ladi [7, 8]. So‘nggi yillarda inulin manbalari yanada katta ilmiy va amaliy qiziqish uyg‘otmoqda, chunki ular bioetanol, fruktoza siropi, bir hujayrali oqsil va yog‘, fruktooligosaxaridlar hamda boshqa foydali mahsulotlarni ishlab chiqarish uchun qayta tiklanuvchi xomashyo hisoblanadi [6].

Ushbu maqsadlar uchun istiqbolli xomashyo turlaridan biri topinambur (*Helianthus tuberosus L.*) hisoblanadi [9]. Topinamburning muhim xususiyatlaridan biri uning makro va mikroelementlar bo‘yicha muvozanatli tarkibidir. U tarkibida magniy, kaliy, fosfor, kalsiy, temir va rux elementlari ko‘p bo‘lib, bu holat qandli diabet bilan og‘rigan bemorlar uchun ayniqsa muhim

ISSN 3030-3907

ahamiyat kasb etadi [10].Jahon sog‘liqni saqlash tashkiloti (JSST) ma’lumotlariga ko‘ra, qandli diabet o‘lim sabablari orasida yetakchi o‘rinlardan birini egallaydi va klinik tibbiyotning eng dolzarb muammolaridan biri bo‘lib qolmoqda. Hozirgi vaqtda dunyo bo‘yicha 425 million kishida II turdagi qandli diabet tashxisi qo‘yilgan bo‘lib, bu ko‘rsatkich ortib borayotgan tendensiyani namoyish etmoqda. JSST ekspertlarining bahosiga ko‘ra, 2019 yilda diabet to‘g‘ridan-to‘g‘ri 1,5 million kishining o‘limiga sabab bo‘lgan. Prognozlarga ko‘ra, 2045 yilga kelib qandli diabet bilan kasallanganlar soni 51% ga ortib, 700 million kishiga yetadi.Ўзбекистонда esa 656,6 mingdan ortiq kishi diabet bilan og‘rigan. Qonda shakar miqdorining yuqoriligi bilan bog‘liq o‘lim holatlari 8 413 nafarni tashkil etadi. Diabetni davolashda ishlatiladigan preparatlar, asosan, tabletkalar (og‘iz orqali qabul qilinadigan antidiyabetik vositalar) va insulin hisoblanadi.Inulin saqlovchi o‘simlik xomashyolarining II turdagi qandli diabetga chalingan bemorlar uchun profilaktik xususiyatlari ma’lum. Bu xomashyolardan tayyorlangan mahsulotlar inson organizmining immun himoya tizimini kuchaytirish qobiliyatiga ega [11–13]. Dietologlar tomonidan inulinning sutkalik iste’mol miqdori 1 dan 10 gacha deb tavsiya etilgan bo‘lib, bu ko‘rsatkich geografik, demografik va boshqa omillarga (yosh, jins, yil fasli va h.k.) qarab belgilanadi [12]. Inulinning o‘ziga xos fizik-kimyoviy xususiyatlari uni oziq-ovqat va farmatsevtika sanoatlarida keng qo‘llash imkonini beradi. Inulin saqlovchi o‘simlik xomashyosi asosida funksional oziq-ovqat mahsulotlarini yaratish aholiga diabetik yo‘nalishdagi funksional ovqatlanish imkonini beradi. Funksional oziq-ovqat mahsulotlari retsepturasini ishlab chiqishda muhim jihatlardan biri bu inulinning fizik-kimyoviy ko‘rsatkichlarini hisobga olgan holda aniq modellashtirilgan ingredient tarkibini belgilashdir [13–16].

Ushbu ishning maqsadi — inulinning suyultirilgan eritmadagi gidrodinamik xossalari va molekulyar massasini tahlil qilish orqali ikki xil usulda olingan makromolekulalarining xatti-harakatini o‘rganishdan iborat.

Eksperimental qism, Inulin namunalarini olish uchun 76% namlikka ega *Sarvat* navli topinambur (*Helianthus tuberosus L.*) ildiz-tugunaklari ishlatildi. Bu nav Tojikiston Fanlar akademiyasi Innovatsion rivojlanish va yangi texnologiyalar markazi olimlari tomonidan yetishtirilgan.Namunalar fleş-usul (FM) bilan 95 °C va 105 °C haroratlarda 7 daqiqa davomida avtoklavda ekstraksiya qilindi (namunalar “Inulin 1” va “Inulin 2”) [20]. Taqqoslash uchun an’anaviy usulda (TM) inulin suv bilan 75 °C haroratda 60 daqiqa davomida ekstraksiya qilindi. Har ikkala holatda muhitning pH qiymati 6,8 da doimiy saqlandi.Keyinchalik olingan ekstraktlar past bosim ostida rotorli bug‘latgichda kontsentratsiyalandi, so‘ngra gidrolizat eritmasidan polisaxarid etil spirti bilan cho‘ktirish yo‘li bilan ajratib olindi [12]. “Inulin 2” ekstrakti, shuningdek, polisaxaridlarni — past molekulyar

ISSN 3030-3907

inulin va yuqori molekulyar pektinni — ajratish maqsadida “UMF-50” ultrafiltratsion membranasi (ZAO NTTs “Vladipor”, Rossiya) orqali kontsentratsiyalandi. Shu tarzda ultrafiltratsiyadan so‘ng konsentrlangan eritmadan “Inulin 3” namunasi olindi.Molekulyar massa va molekulyar-massa taqsimotini (MMT) aniqlash uchun polisaxaridning 2,0–5,0 mg/ml konsentratsiyadagi eritmasi tayyorlandi. Eritma harakatlanuvchi faza eritmasida 20 °C haroratda 12 soat davomida aralashtirildi. Harakatlanuvchi faza 50 mM $NaNO_3$ eritmasidan iborat bo‘lib, 0,01% NaN_3 saqlardi.

Tayyorlangan polisaxarid eritmalari VƏJX (yuqori samarali eksklyuzion suyuqlik xromatografiyasi) tizimiga yuborishdan oldin 0,45 mkmli filtr (Millex-HV, PVDF, Millipore Corp., Billerica, MA, AQSh) orqali filtrlandi.VƏJX tizimi viskozimetrik (Viscostar, Wyatt Technology, AQSh) va refraktometrik (Differential Refractometer Waters 2410, AQSh) detektorlar bilan jihozlangan edi. Erituvchi yetkazib berish tizimi vakuum degazatori, avtomatik namuna kirituvchi (autosampler) va yuqori bosimli nasosdan iborat bo‘ldi. Namuna hajmi 200 mkl bo‘lib, oqim tezligi 0,8 ml/min darajada saqlandi. Har bir namuna uch marta kiritildi, natijalar esa o‘rtacha qiymatlar sifatida (polidisperslik indeksi Mw/Mn, Mz/Mn, o‘rtacha soniyaviy molekulyar massa Mn, o‘rtacha og‘irlik molekulyar massa Mw, z-o‘rtacha molekulyar massa Mz, xarakteristik yopishqoqlik [ηw] va gidrodinamik radius [Rh]) hisoblandi.Ishchi kolonkani himoya qilish uchun ketma-ket ikkita himoya kolonkasi (TSK-GEL® PWXL 6,0 mm; ID×4,0 sm; L, 12 mkm, Yaponiya) ulanib ishlatildi. Inulin va pektinni ajratish uchun ketma-ket ulangan ikkita PL-Aquagel OH-60 hamda bitta PL-Aquagel OH-40 (Agilent Technologies, AQSh) kolonkalaridan foydalanildi.

Ushbu kolonkalar standart pullulan namunalar (Showa Denko KK, Yaponiya) bilan kalibrlangan bo‘lib, ularning molekulyar massalari 788, 667, 404, 112, 47,3 va 22,8 kDa edi. Kolonkalar harorati 30 °C da saqlandi va ular asosiy detektorlarga ketma-ket ulangan holda ishladi.Namunani kolonkadan chiqish foizi RI detektor signalini integratsiyalash orqali aniqlangan elyuirlangan massa va kiritilgan massa nisbatiga ko‘ra hisoblandi. Ikki detektordan olingan barcha signallar ASTRA 5.3.4.13 dasturiy ta’minoti (Wyatt Technology, AQSh) yordamida tahlil qilindi [20].Polimer konsentratsiyasiga bog‘liq ravishda eritmadagi sinish koeffitsienti o‘zgarishi (dn/dc) 50 mM $NaNO_3$ eritmasida 0,132 ga teng deb hisoblab chiqildi [21].

Natijalar muhokamasi

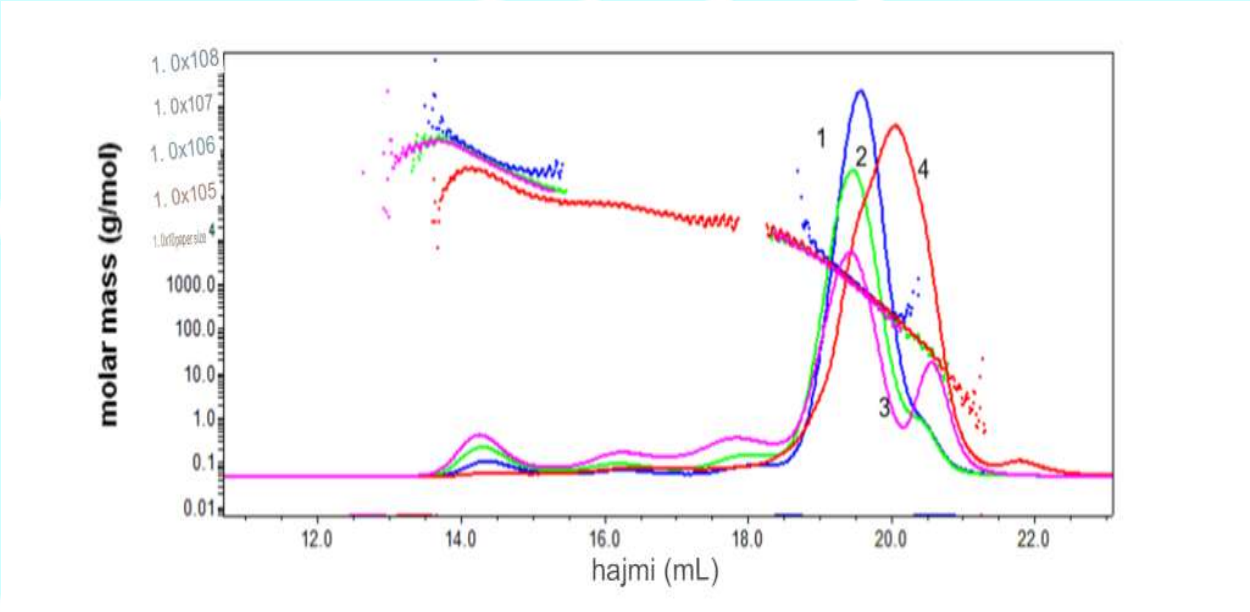
Ekstraksiya jarayonida olingan mahsulotlar chiqimi haqidagi ma’lumotlar [12]-manbada keltirilgan. Ekstraksiya mahsulotlarining asosiy qismini suvda eruvchan moddalarning tashkil etgani aniqlandi. Ularning chiqish miqdori fleş-metod (FM) orqali topinambur ildizmevasining umumiy massasidan 97% gacha,

ISSN 3030-3907

an’anaviy metod (TM)da esa 75% gacha yetdi.Inulinning eng yuqori chiqimi FM-ekstraksiya jarayonida 95 °C va 105 °C haroratlarda, 1,5 atm bosim ostida amalga oshirilganda kuzatildi. Bu ko‘rsatkichlar mos ravishda 19,21% va 16,2% ni tashkil etdi. Shu bilan birga, TM-ekstraksiya usulida olingan inulinning chiqimi 8,5% bo‘ldi.Inulinning molekulyar massasi to‘g‘ridan-to‘g‘ri o‘simlik turiga (topinambur, shikoriy, devyasil va boshqalar) hamda yig‘ib olish vaqtiga bog‘liq bo‘ladi [22].. Xromatogramma va MMT egri chiziqlaridan ko‘rinib turibdiki, FM-ekstraksiya bilan olingan namunalar uchun ikki cho‘qqi kuzatilgan. Birinchi kichik cho‘qqi yuqori Mw qiymatiga ega bo‘lib, 14,5 ml elyuirlangan hajmda paydo bo‘ladi; undan keyin asosiy polisaxarid fraksiyasi — inulin — xromatografik suyuqlik xromatografiyasi (VƏJX) kolonkasidan 19,5–21,0 ml hajm oralig‘ida elyuirlanadi.

FM va TM usullari bilan ajratib olingan inulin namunalarining VƏJX xromatogrammalari, MMT taqsimot egri chiziqlari hamda ularning gidrodinamik parametrlarini tahlil qilish ASTRA 5.3.4.13 dasturi yordamida amalga oshirildi. Tahlil natijalari jadvalda keltirilgan.Olingan natijalar tahlili shuni ko‘rsatadiki, FM usuli bilan ekstraksiya qilingan polisaxaridlar (Inulin 1, Inulin 2 va Inulin 3) ikki cho‘qqili (A va B) elyuirlanish xususiyatiga ega. Garchi birinchi fraksiyaning (A cho‘qqisi) chiqish miqdori Inulin 1, Inulin 2 va Inulin 3 namunalarida mos ravishda 4,05%, 7,59% va 6,83% ni tashkil etsa-da, ularning molekulyar massasi juda yuqori — 1003,2 kDa bo‘lgan.Bunga qarama-qarshi ravishda, ikkinchi fraksiya (asosiy inulin fraksiyasi)ning chiqimi Inulin 1 va Inulin 2 namunalarida mos ravishda 95,47% va 91,14% ni tashkil etdi, biroq ularning molekulyar massasi nisbatan past — mos ravishda 2,89 kDa va 2,7 kDa bo‘ldi.Polisaxarid fraksiyalarini yanada aniq ajratish maqsadida yarim o‘tkazuvchi “UMF-50” membranalaridan (ZAO NTTs “Vladipor”, Rossiya) iborat membranali filtrlash usuli qo‘llanildi. Ushbu membranalar oqsil (albumin) uchun 50 kDa o‘tkazuvchanlik chegarasiga ega bo‘lib, ular past va yuqori molekulyar komponentlarni samarali ajratish imkonini berdi.

ISSN 3030-3907



1-rasm. Topinamburdan ajratib olingan polisaxaridlarning yuqori samarali suyuqlik xromatografiyasi.

(YSSX) xromatogrammalari va molekulyar massalar taqsimoti (MMT) egri chiziqlari, viskozimetrik va refraktometrik detektorlar qo‘llanilgan holda olingan natijalar (1) – Inulin 1;(2) – Inulin 2; (3) – Inulin 3; (4) – Inulin TM. Olingan natijalarimiz (MMT differensial egri chiziqlari (2-rasmga qarang) va konformatsion grafik) asosida shuni taxmin qilish mumkin-ki, inulinning ayrim past molekulyar fraksiyalaridan sezilarli darajada o‘z-o‘zidan tashkil topish jarayoni boshlanadi. Bu fraksiyalar siklik yoki spiral konformatsiyalarni shakllanishiga yordam beruvchi omillar sifatida qaraladi [29]. Avvalgi tadqiqotlarda [17, 29] ko‘rsatilganidek, zanjir uzunligi (ZUZ) 6–8 bo‘lgan oligomerlar tartibga solingan, ammo aniq aniqlanmagan konformatsiyalarga ega bo‘lib, bu strukturaviy o‘zgarish xromatografik elyutsiya ketma-ketligidagi o‘ziga xos xususiyatlar uchun javobgardir. ZUZ 9 va undan yuqori bo‘lgan inulin oligomerlari muntazam spiral tuzilmani hosil qiladi, bu tuzilma besh yoki olti aylanishli spiral sifatida tasvirlanadi [17, 29]. Hozirda o‘ng tomonga burilgan olti burchakli spiral struktura umumiy qabul qilingan shakl hisoblanadi. Har bir zanjirning spiral strukturasi izoformalar qatoriga birlashishi mumkin, ularning tabiati esa hosil bo‘lish jarayonining kinetikasi va termodinamikasiga bog‘liq [17].

Umuman olganda, olingan natijalar va boshqa mualliflarning ma’lumotlariga tayangan holda quyidagi xulosalar chiqarildi:

1. Topinamburdan olingan inulin namunalarining gidrodinamik xossalari va molekulyar massalari, yuqori haroratda (105 °S) qisqa muddatda o‘tkazilgan flash-metod (FM) hamda past haroratda (75 °S) uzoq muddatli an’anaviy metod (TM) bilan olingan namunalar, ushbu biopolimerning o‘z-o‘zidan agregatsiyalanish xususiyatiga ega ekanligini ko‘rsatdi. Shu bilan birga, jarayon neytral muhitda (pH = 6,8) o‘tkazilgani sababli degradatsiya (gidroliz) jarayonlari kuzatilmadi;

ISSN 3030-3907

2. Flash-metod orqali olingan inulin ikki fraksiyadan iborat: past molekulyar inulin va yuqori molekulyar agregat, ya'ni polisaxarid kompleksi. Kutilganidek, ularni oddiy usullar bilan ajratish imkoni yo'q. UV-membrana yordamida kontsentratsiyalash jarayonida bir qator subfraksiyalar hosil bo'lib, ko'p miqdorda agregatsiyalangan, suvda erimaydigan mikrogellar shakllandi.

Kelgusida inulinning noorganik va aralash erituvchilardagi konformatsion xususiyatlarini chuqurroq o'rganish, shuningdek, subfraksiyalarni preparativ ajratish orqali ularning tuzilishini aniqlash zarur. Bu esa inulinning amaliy qo'llanish doirasini yanada kengaytirishga xizmat qiladi.

Xulosa

Mazkur tadqiqot topinambur tugunaklaridan olingan inulinning strukturaviy va molekulyar parametrlariga oid yangi natijalarni namoyish etdi hamda suvli eritmada inulinning strukturaviy shakllanishi haqidagi gipotezani ilgari surdi. Avval ta'kidlanganidek, yuqori harorat va qisqa vaqt oralig'ida flash-metod yordamida ajratilgan inulin ikki fraksiyadan iborat: past molekulyar inulin va yuqori molekulyar polisaxarid agregati. Olingan natijalar asosida, oziq-ovqat va profilaktik maqsadlar uchun sifatli inulin olishda qisqa muddatli flash-ekstraksiya usuli an'anaviy uzoq muddatli usulga nisbatan afzal ekanligi ko'rsatildi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI:

1. Zhang X., Li Y., Wang Z. (2022). Extraction and Purification of Inulin from Jerusalem artichoke: operational variables and optimization. Journal of Food Science and TechnologyC

2. Zeaiter Z., et al. (2019). Extraction and Characterization of Inulin-Type Fructans from Artichoke. Foods.

3. Samolińska W., et al. (2016). Comparative Effects of Inulin with Different Polymerization Degrees. Nutrients.

4. Barclay T.G., et al. (2016). Physical characterization and in silico modeling of inulin: SAXS, FTIR and modelling studies. Scientific Reports / related physical-characterization study.

5. Mensink M.A., et al. (2015). Inulin, a flexible oligosaccharide — review of properties, sources and applications. Carbohydrate Polymers (review).

6. Niness K.R. (1999). Inulin and Oligofructose: What Are They? Journal of Nutrition.

7. Chen Q., et al. (2024). Effects of inulin with different polymerization degrees on physiological and functional properties. Food Research publications (open access review).

8. Zhang Y., et al. (2024). Recent advances in inulin polysaccharides research: extraction, structural characterization and bioactivities. Chemical and Biological Technologies in Agriculture (review).

ISSN 3030-3907

9. Mangguali M., et al. (2024). Study of Inulin Content and Extraction Methods in Several Tubers. Bio-Conferences (conference paper).
10. Kattakdad S., et al. (2024). The Comparison of Inulin Extraction Methods from Jerusalem artichoke. Regional Journal of Applied Science (method comparison).
11. Maumela P., et al. (2019). Sequential extraction of protein and inulin from Jerusalem artichoke tubers. Food Chemistry / Journal article.
12. ResearchGate — Extraction, degree of polymerization determination and prebiotic effect evaluation of inulin from Jerusalem artichoke (methodological report / thesis).
13. "Inulin Extraction and Encapsulation" — ResearchGate (method development for extraction and encapsulation; tech. note).
14. Noori W.O. (2014). Selection of optimal conditions of inulin extraction from Jerusalem artichoke — ultrasound-assisted extraction study. (conference / technical paper).
15. Microwave-assisted extraction study: Inulin obtained from Jerusalem artichoke using microwave-assisted extraction and its metabolic influence (2021 report / method paper).
16. EP0787745 A2. Preparation of inulin products — ultrafiltration fractionation of inulin solutions (patent).
17. ES2214589T3. Preparation of inulin products — clarification and ultrafiltration of crude inulin extract (patent).
18. HUP9700359A2. Process for producing inulin — membrane fractionation and separation (patent).
19. Borromei C., et al. (2009). Evaluation of Fructooligosaccharides and Inulins as prebiotics: analytical methods and DP distribution. (Journal article / review).
20. Saeedi P., et al. (2019). Global and regional diabetes prevalence estimates for 2019 and projections to 2045. Diabetologia / Lancet-style epidemiology report.
21. World Health Organization (WHO). Diabetes fact sheet / Diabetes: key facts and global burden. WHO web page (fact sheet).
22. International Diabetes Federation (IDF) — Diabetes Atlas / global diabetes statistics and projections. (useful for contextual epidemiology in article introduction).
23. Wyatt Technology / ASTRA documentation and manuals — ASTRA software, ViscoStar, Optilab rEX and SEC-MALS guidelines (ASTRA V 5.3.4 and user guides) — used for SEC + viscometry + refractometry data processing in macromolecule analysis.

ISSN 3030-3907