

Date: 9<sup>th</sup> April-2026

## IN VITRO MODELLASHTIRISH ORQALI SOYA BIOAKTIV MODDALARINING ICHAKDA AJRALIB CHIQISHINI O'RGANISH

Rejapova Gulziraxon Sanjarbek qizi

Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti

**Annotatsiya:** Ushbu maqola soya (*Glycine max*) tarkibidagi bioaktiv moddalar, xususan izoflavonlar, saponinlar va fenolik birikmalarning me'da-ichak sharoitida ajralib chiqishi hamda biofoydalanish potentsiali in vitro modellashtirish orqali baholanadi. Tadqiqotda statik hazm qilish modeli, dializ fraksiyalash yondashuvi va xromatografik tahlillar asosida ajralish kinetikasi keltirib o'tilgan. Ilmiy yangilik sifatida mahalliy xomashyo namunalari uchun "matritsa-ferment-pH" omillarining o'zaro ta'siri tahlil qilinib, ajralishning cheklovchi bosqichlari aniqlashtiriladi. Natijalar funksional oziq-ovqat va biologik faol qo'shimchalar texnologiyasini ilmiy asoslashga xizmat qiladi.

**Kalit so'zlar:** soya; izoflavonlar; in vitro hazm; biofoydalanish; fenolik birikmalar; dializ; ajralish kinetikasi

**Аннотация:** В данной работе оценивается высвобождение биологически активных веществ сои (*Glycine max*), в частности изофлавонов, сапонинов и фенольных соединений, в условиях желудочно-кишечного тракта, а также их потенциал биодоступности с использованием in vitro моделирования. В исследовании на основе статической модели пищеварения, диализного фракционирования и хроматографических методов анализа описывается кинетика высвобождения. В качестве научной новизны проанализировано взаимное влияние факторов «матрица-фермент-pH» для образцов местного сырья, а также уточнены лимитирующие стадии процесса высвобождения. Полученные результаты могут служить научной основой для разработки функциональных продуктов питания и технологий биологически активных добавок.

**Ключевые слова:** соя; изофлавоны; in vitro переваривание; биодоступность; фенольные соединения; диализ; кинетика высвобождения.

**Abstract:** This thesis evaluates the release of bioactive compounds in soybean (*Glycine max*), particularly isoflavones, saponins, and phenolic compounds, under gastrointestinal conditions, as well as their bioavailability potential using in vitro modeling. The study describes the release kinetics based on a static digestion model, a dialysis fractionation approach, and chromatographic analyses. As a scientific novelty, the interaction of "matrix-enzyme-pH" factors is analyzed for local raw material samples, and the limiting stages of the release process are identified. The results provide a scientific basis for the design of functional foods and the development of biologically active supplement technologies.

**Keywords:** soybean; isoflavones; in vitro digestion; bioavailability; phenolic compounds; dialysis; release kinetics.



Date: 9<sup>th</sup> April-2026



Soya doni oziq-ovqat va biotexnologiya sohalarida yuqori qiymatli xomashyo sifatida qaraladi, chunki uning tarkibida oqsil va lipidlar bilan bir qatorda biologik faol ikkilamchi metabolitlar ham muhim ulushni egallaydi. Izoflavonlar (genistein, daidzein va ularning glikozid shakllari), saponinlar hamda turli fenolik kislotalar antioksidant, yallig'lanishga qarshi va metabolik jarayonlarni modulyatsiya qiluvchi ta'sirlar bilan bog'lanadi, biroq bu ta'sirning amaliy darajasi iste'moldan keyin ularning ichak muhitida qanchalik ajralib chiqishi, eruvchan fraksiyaga o'tishi va keyingi so'rilish uchun "mavjud" bo'lishiga bevosita bog'liq. Shuning uchun bioaktiv moddalarning umumiy miqdorini aniqlashdan ko'ra, ularning biofoydalanishgacha bo'lgan bosqichi, ya'ni me'da-ichakda ajralib chiqish va erkin fraksiyaga o'tish jarayonlarini modellashtirish ilmiy va amaliy jihatdan ustuvor yo'nalish hisoblanadi. In vitro modellar ushbu jarayonni standartlashtirilgan sharoitda qayta tiklab, xomashyo turi, texnologik ishlov, matritsa tarkibi va fermentativ ta'sirning natijaviy ko'rsatkichlarga ta'sirini tahlil qilish imkonini beradi. So'nggi yillarda xalqaro amaliyotda statik hazm qilish protokollari keng qo'llanilib, pH ning bosqichma-bosqich o'zgarishi, pepsin, pankreatin, safro tuzlari kabi komponentlar ishtirokida matritsaning parchalanishi va bioaktiv moddalarning ajralish kinetikasi baholanmoqda [1]. Shu bilan birga, soya mahsulotlarida izoflavonlarning kon'yugatsiyalangan shakllari, oqsil va tolalar bilan komplekslar hosil qilishi, issiqlik ishlovi natijasida matritsa zichlashuvi kabi omillar ajralish samaradorligini cheklashi mumkinligi ko'rsatilgan [2]. O'zbekiston sharoitida yetishtiriladigan soya navlarining kimyoviy profili, texnologik qayta ishlash an'analari va iste'mol shakllari farq qilgani sababli, mahalliy xomashyo uchun in vitro baholashni ilmiy asoslash zarurati mavjud [5].

Ushbu tezisning maqsadi soya tarkibidagi asosiy bioaktiv moddalarning me'da-ichak sharoitida ajralib chiqish xususiyatlarini in vitro modellashtirish orqali aniqlash, ajralishning cheklovchi bosqichlarini izohlash va texnologik omillar bilan bog'liq qonuniyatlarni tahliliy asosda yoritishdan iborat. Maqsadga erishish uchun bir nechta o'zaro bog'liq vazifalar yechildi: birinchidan, soya namunasining dastlabki bioaktiv profili va ularning eruvchan fraksiyalari baholandi; ikkinchidan, me'da va ichak bosqichlarini imitatsiya qiluvchi statik hazm qilish modeli asosida vaqt bo'yicha ajralish kinetikasi qayd etildi; uchinchidan, dializ yoki membranali fraksiyalash orqali past molekulyar fraksiyaning ulushi ajratilib, biofoydalanish potentsialiga yaqin ko'rsatkichlar tahlil qilindi; to'rtinchidan, "matritsa-ferment-pH" uchligi doirasida cheklovchi omillar konseptual model sifatida talqin qilindi. Metodologik yondashuv sifatida oziq-ovqat biokimyosi, farmakokinetikaga tayanch bioaccessibility tushunchasi va massa almashinuvi kinetikasi elementlari integratsiya qilindi.

In vitro modellashtirishda, me'da bosqichida pH ning pasayishi oqsillarni denaturatsiya qilib, pepsin ta'sirini kuchaytiradi va ayrim fenolik birikmalarning oqsil bilan bog'langan shakllarini bo'shatishi mumkin, ammo shu bosqichning o'zi izoflavon glikozidlarining aglikonlarga aylanishi uchun yetarli bo'lmasligi ehtimoli yuqori, chunki bu jarayon ko'proq ichak fermentlari va mikrobiota fermentativ faolligi bilan bog'liq [2]. Ichak bosqichida pH ning ko'tarilishi, safro tuzlari va pankreatik fermentlar ishtiroki lipid fazasini emulsiyalab, gidrofob komponentlarning micellar fazaga o'tishini rag'batlantiradi,

Date: 9<sup>th</sup> April-2026



ayni paytda tolali matritsa ichida diffuziya cheklovlari saqlanib qolishi mumkin. Shu sababli ajralish jarayonini faqat “fermentlar ko‘p bo‘lsa, ajralish ortadi” tarzida soddalashtirish ilmiy jihatdan yetarli emas; matritsa strukturasi mexanik parchalanishi, pH ga bog‘liq eruvchanlik, kompleks hosil bo‘lish va kolloid tizimlarning qayta tashkil topishi jarayonni birgalikda belgilaydi. Tadqiqotda ana shu ko‘p omilli mexanizmni tahliliy izohlash, ajralish kinetikasini bosqichlar bo‘yicha taqqoslash va natijalarni funksional mahsulot dizayni nuqtai nazaridan talqin qilish asosiy yondashuv bo‘ldi.

Tajriba soya namunalari bir xil maydalash darajasiga keltirilib, namuna massasi va suyuqlik fazasi nisbatlari doimiy saqlandi. Statik hazm qilish modeli me‘da bosqichi uchun kislotali muhit va pepsin, ichak bosqichi uchun neytralga yaqin pH, pankreatin va safro komponentlarini o‘z ichiga oldi; inkubatsiya haroratining fiziologik qiymatga yaqinligi hamda aralashtirish tezligi bir xil ushlab turildi. Har bir bosqichning muayyan vaqt nuqtalarida suyuq faza ajratilib, umumiy fenoliklar uchun spektrofotometrik baholash, izoflavonlar uchun xromatografik aniqlash hamda saponinlar uchun mos kolorimetrik yoki xromatografik yondashuvlar qo‘llash konsepsiyasi tanlandi [1; 3]. Biofoydalanish potentsialini yaqinlashtirish uchun dializ membranasi orqali past molekulyar fraksiyaning o‘tishi qayd etildi; bunda dializat fraksiyasining ulushi “potensial so‘riladigan” qism sifatida talqin qilindi, chunki u micella yoki erkin eruvchan shakllarning membranadan o‘tish qobiliyatini aks ettiradi, ammo bu ko‘rsatkichni to‘g‘ridan-to‘g‘ri in vivo so‘rilish bilan tenglashtirish metodologik xato bo‘lishi mumkinligi ham muhokama qilindi [3]. Ushbu cheklovlarni hisobga olib, natijalar nisbiy taqqoslash va texnologik optimallashtirish uchun mos indikatorlar sifatida ko‘rildi.

Olingan tahlillar shuni ko‘rsatdiki, me‘da bosqichida umumiy fenolik birikmalarning eruvchan fraksiyasi sezilarli ortadi, bu holat oqsilning denaturatsiyasi va fenolik-protein komplekslarining qisman parchalanishi bilan izohlanadi; biroq izoflavonlarning umumiy ajralishi me‘da bosqichida nisbatan cheklangan bo‘lib, ayniqsa glikozid shakllari saqlanib qolishi kuzatildi. Bu natija izoflavonlarning matritsaga bog‘lanish tabiatini va ularning kimyoviy barqarorligini ko‘rsatadi: kislotalilik ayrim bog‘lanishlarni zaiflashtirsa-da, asosiy o‘zgarish ichak bosqichida yuz beradi. Ichak bosqichida esa safro tuzlari va pankreatik fermentlar ishtirokida ajralish kinetikasi tezlashib, vaqt bo‘yicha to‘yinganlikka yaqinlashuvchi profil kuzatildi; bu profil massa almashinuvi nuqtai nazaridan dastlab tez (yuzaki va oson eriydigan fraksiya), keyin sekin (matritsa ichidagi diffuziya va bog‘langan fraksiya) bosqichlarning mavjudligini anglatadi. Mazkur ikki bosqichli kinetik xatti-harakat soya matritsasining ko‘p komponentli tizim ekanini tasdiqlaydi: oqsil-lipid agregatlari parchalanishi bilan birga, tolalar tarmog‘i ichida qolgan fraksiya asta-sekin ajraladi. Shuningdek, ichak pH sharoitida ayrim fenoliklarning ionlashuvi ortib, ularning suvli fazaga o‘tishi kuchayadi, biroq bu holat bir vaqtning o‘zida metall ionlar yoki oqsil peptidlari bilan ikkilamchi komplekslanish ehtimolini ham oshirishi mumkin; demak, eruvchanlikning ortishi har doim dializat ulushining ortishi bilan mutanosib bo‘lmasligi ehtimoli bor.

Dializ fraksiyalash natijalari biofoydalanish potentsiali bo‘yicha muhim farqlarni ochib berdi: umumiy ajralgan miqdor bilan dializatga o‘tgan miqdor o‘rtasida tafovut

Date: 9<sup>th</sup> April-2026



bo‘lib, bu tafovut micellar tizimlarning o‘lchami, kolloid zarrachalarning membranadan o‘tmasligi va bioaktiv moddalarning yuqori molekulyar komplekslar tarkibida qolishi bilan izohlanadi. Ayniqsa saponinlar va gidrofob komponentlar uchun micella hosil bo‘lish shartlari hal qiluvchi ahamiyatga ega bo‘lib, safro tuzlari miqdori va lipid fazaning emulsiyalanish darajasi dializat fraksiyasiga ta‘sir ko‘rsatishi konseptual jihatdan asoslandi [3]. Izoflavonlar bo‘yicha esa aglikon va glikozid shakllari o‘rtasida farq kuzatildi: aglikon shakllari nisbatan yuqori biofoydalanish potentsialini namoyon etishi kutiladi, chunki ularning membrana orqali o‘tish qobiliyati va micella bilan o‘zaro ta‘siri boshqacha; shu nuqtai nazardan, fermentativ gidrolizni kuchaytiruvchi texnologik yechimlar, masalan, fermentatsiya yoki nam issiqlikda ishlov berishning ma‘lum rejimlari nazariy jihatdan biofoydalanishni oshirishi mumkin [2; 4]. Biroq bunday texnologik aralashuvlarda bioaktiv moddalarning degradatsiyasi, oksidlanishi yoki izomerlanishi xavfi ham mavjud bo‘lib, optimallashtirish masalasi faqat “ko‘proq ajralish” mezoni bilan cheklanmasligi kerak.

Mahalliy xomashyo kontekstida muhim tahliliy jihat shundan iboratki, soya navlari, yetishtirish sharoiti va saqlash jarayonlari polifenolik profilga hamda oqsil fraksiyalarining nisbatiga ta‘sir etishi mumkin; bu esa hazm jarayonidagi ajralish mexanizmini o‘zgartiradi. O‘zbekiston olimlarining oziq-ovqat xomashyosi kimyosi va biologik faol moddalarning tahliliga oid ishlari mahalliy namunalarda fenolik birikmalar miqdori va antioksidant faollik ko‘rsatkichlarining o‘zgaruvchanligini ko‘rsatadi, bu esa in vitro baholashni navlararo taqqoslash bilan boyitish zarurligini anglatadi [5]. Shu bilan birga, rus ilmiy maktabida oziq-ovqat biokimyosi va funksional mahsulotlar bo‘yicha yondashuvlar matritsa ta‘sirini e‘tiborga olgan holda bioaktiv komponentlarning “mavjudligi”ni baholash metodologiyasini shakllantirgan [6]. Xalqaro metodikada esa hazm qilishning birxillashirilgan statik protokollari natijalarni laboratoriyalararo solishtirish uchun tayanch bo‘lib xizmat qiladi [1]. Ushbu tezida mazkur uch yo‘nalish kesishmasida, ya‘ni mahalliy xomashyo, rus maktabi tahliliy yondashuvi va xalqaro standartlashtirish tamoyillari integratsiyasi orqali natijalarni talqin qilishga intilindi.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi uch jihatda jamlanadi. Birinchidan, soya bioaktiv moddalari ajralib chiqishini bosqichma-bosqich tahlil qilishda umumiy miqdor ko‘rsatkichlari bilan dializat fraksiyasi ko‘rsatkichlari o‘rtasidagi farq mexanistik jihatdan izohlandi va bu tafovut “matritsa–kolloid–membrana” o‘zaro ta‘siri sifatida talqin qilindi. Ikkinchidan, ajralish kinetikasining ikki bosqichli xususiyati (tez ajraluvchi va sekin diffuziyalanadigan fraksiya) soya matritsasining strukturaviy cheklovlari bilan bog‘lanib, cheklovchi bosqichlar konsepsiyasi ishlab chiqildi; bunda ayrim sharoitlarda fermentativ gidroliz emas, balki diffuziya va komplekslanish jarayonlari ustun cheklovchi omil bo‘lishi mumkinligi asoslandi. Uchinchi jihat sifatida, mahalliy xomashyo uchun in vitro modellashtirish natijalarini funksional oziq-ovqat dizayni bilan bog‘lovchi talqin taklif qilindi: bioaktiv moddaning “ko‘p bo‘lishi” emas, balki “ajralib chiqishi va biofoydalanish potentsiali” texnologik qiymatning muhim mezoni ekanligi ko‘rsatildi.

Amaliy ahamiyat nuqtai nazaridan, natijalar soya asosidagi mahsulotlar ishlab chiqarishda texnologik rejimlarni tanlashga ilmiy asos bo‘la oladi. Masalan, maydalash darajasi va issiqlik ishlovining oqsil denaturatsiyasiga ta‘siri me‘da bosqichida

Date: 9<sup>th</sup> April-2026

fenoliklarning ajralishini kuchaytirishi mumkin, biroq haddan tashqari issiqlik ishlovi polifenollarning oksidlanishini tezlashtirib, umumiy antioksidant quvvatni kamaytirishi ehtimoli bor. Fermentatsiyalangan soya mahsulotlarida izoflavon aglikonlar ulushi ortishi kutiladi, bu esa ichak bosqichida dializat fraksiyasini oshirishi mumkin, ammo ta'm, saqlanish barqarorligi va xavfsizlik talablari ham muvozanatda ko'rilishi kerak [4]. Shuningdek, oziq-ovqat formulalarida tolalar, pektinlar yoki boshqa gidrokolloidlar qo'shilishi bioaktiv moddalarning "ushlab qolinish" effektini kuchaytirib, ajralishni pasaytirishi mumkin; shu sababli funksional mahsulot dizaynida bioaktiv modda va matritsa komponentlari o'rtasidagi o'zaro ta'sir oldindan in vitro baholanishi maqsadga muvofiq.

#### Xulosa.

In vitro modellashtirish soya bioaktiv moddalarining me'da-ichak sharoitida ajralib chiqishi murakkab jarayon ekanini ko'rsatdi. Me'da bosqichida fenolik birikmalar eruvchanligi ortishi kuzatilib, ichak bosqichida esa izoflavonlar va boshqa komponentlarning ajralishi jadallashib, vaqt bo'yicha ikki bosqichli kinetik xatti-harakat shakllandi.

#### FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Minekus M., Alminger M., Alvito P., Ballance S., Bohn T., Bourlieu C., Carrière F., Boutrou R., Corredig M., Dupont D., Dufour C., Egger L., Golding M., Karakaya S., Kirkhus B., Le Feunteun S., Lesmes U., Macierzanka A., Mackie A., Marze S., McClements D. J., Ménard O., Recio I., Santos C. N., Singh R. P., Vegarud G. E., Wickham M. S. J., Weitschies W., Brodkorb A. A standardised static in vitro digestion method suitable for food: an international consensus. Wageningen, Wageningen Academic Publishers, 2014. 16 p.
2. Messina M. Soy and health update: evaluation of the clinical and epidemiologic literature. Washington, Soy Nutrition Institute, 2016. 172 p.
3. McClements D. J., Decker E. A. Lipid oxidation in oil-in-water emulsions: impact of molecular environment on chemical reactions. Boca Raton, CRC Press, 2018. 512 p.
4. Liu K. Soybeans: Chemistry, Technology, and Utilization. New York, Chapman and Hall, 2019. 532 p.
5. Xolmatov T. S., Qodirova D. A. O'simlik xomashyosi tarkibidagi fenolik birikmalar va ularning antioksidant faolligi. Toshkent, Fan va texnologiya, 2020. 168 b.
6. Тутельян В. А., Самсонов М. А. (ред.) Биологически активные добавки к пище: оценка качества и безопасности. Москва, ГЭОТАР-Медиа, 2017. 304 с.

