6-GINGEROLNING 6-SHOGAOLGA DEGIDRATATSIYA REAKSIYASI SHAROITLARINI MAQBULLASHTIRISH VA EKSTRAKTNING FIZIK-KIMYOVIY XARAKTERISTIKASI

Gapparova Farida Jabbarovna

Guliston davlat universiteti , 2-kurs tayanch doktoranti

gapparovafarida63@gmail.com

Annotatsiya. Maqolaning maqsadi 6-gingerolning 6-shogaolga degidratatsiyasiga ta’sir qiluvchi omillarni ilmiy adabiyotlar asosida tahlil qilish va ekstraktning fizik-kimyoviy xususiyatlarini baholashga mos maqbullashtirish yondashuvini ishlab chiqishdan iborat. Buning uchun birlamchi tadqiqotlardagi suvli muhit kinetikasi, termik ishlov va ekstraksiya natijalari qiyoslanib, konversiya, molyar unum hamda selektivlik mezonlari ajratildi. Tahlil harorat va kislotalilik ta’sirini erituvchi tarkibi, namlik, ishlov davomiyligi va xomashyo holatidan alohida baholash mumkin emasligini ko‘rsatadi. Uch omilli tajriba rejasi, HPLC orqali miqdoriy nazorat va spektroskopik identifikatsiyani birlashtiruvchi metodik model taklif etildi. 6-shogaol bilan boyitish samaradorligini ishonchli baholash uchun maqsadli komponent miqdori bilan birga modda balansi, ekstraktning quruq qoldig‘i va barqarorligini aniqlash zarurligi asoslandi.

Kalit so‘zlar: 6-gingerol, 6-shogaol, degidratatsiya, Zingiber officinale, maqbullashtirish, HPLC, fizik-kimyoviy xarakteristika.

Kirish

Zanjabil (Zingiber officinale Roscoe) ildizpoyasini qayta ishlashda uning kimyoviy tarkibi faqat ekstraksiya samaradorligiga emas, balki ishlov davomida yuz beradigan reaksiyalarga ham bog‘liq. Gingerollar tarkibidagi β-gidroksiketon fragmenti suv ajralishi bilan shogaollarga aylanishi mumkin [1]. Shu sababli 6-

shogaolga boy ekstrakt olish masalasi bir vaqtning o‘zida ekstraksiya, kimyoviy o‘zgarish va analitik nazoratni qamrab oladi.

Tadqiqotlarda kislotali muhitdagi o‘zgarish, quritish va ekstraksiya harorati, shuningdek, nam yoki quruq issiqlikning ta’siri turli tizimlarda o‘rganilgan [1–3]. Biroq bitta tizim uchun topilgan eng yaxshi sharoitni boshqa erituvchi yoki xomashyo turiga bevosita ko‘chirish asosli emas. Masalan, ekstraktdagi 6-shogaol konsentratsiyasining ortishi yangi modda hosil bo‘lishi bilan bir qatorda erituvchining bug‘lanishi yoki matritsadan ajralishning yaxshilanishini ham ifodalashi mumkin.

Maqolaning vazifasi ushbu omillarni o‘zaro bog‘liq holda tahlil qilish, reaksiyani baholashning miqdoriy mezonlarini belgilash hamda fizik-kimyoviy tavsiflash uchun tekshiriladigan ko‘rsatkichlar tizimini taklif etishdir. Ish ilmiy-tahliliy va metodik yo‘nalishga ega: keltirilgan tajribaviy dalillar tegishli adabiyot mualliflariga taalluqli, ishlab chiqilgan reja esa keyingi laboratoriya tekshiruvi uchun taklifdir.

Asosiy qism

Reaksiyaning kimyoviy asosi

6-Gingerol va 6-shogaolning molekulyar formulalari mos ravishda $C_{17}H_{26}O_4$ va $C_{17}H_{24}O_3$ bo‘lib, o‘zgarish bir molekula suv ajralishiga mos keladi [4, 5]. Reaksiya natijasida yon zanjirning C4 va C5 atomlari orasida qo‘shbog‘ hosil bo‘ladi va karbonil guruhi bilan tutashgan α,β-to‘yinmagan keton tizimi vujudga keladi:

$$C_{17}H_{26}O_4 \rightleftharpoons C_{17}H_{24}O_3 + H_2O$$

$$Ar–CH_2–CH_2–CO–CH_2–CH(OH)–(CH_2)_4–CH_3$$

$$\rightleftharpoons Ar–CH_2–CH_2–CO–CH=CH–(CH_2)_4–CH_3 + H_2O$$

Bu yerda Ar — 4-gidroksi-3-metoksifenil qoldig‘i. Kislota katalizi sharoitida β-gidroksil guruhining protonlanishi suvning ajralishini osonlashtiradi; keyingi proton ajralishi tutashgan qo‘shbog‘ni hosil qiladi. Suvli tizimda teskari gidratatsiya ham

hisobga olinadi [1]. Shuning uchun degidratatsiyani barcha sharoitlarda qaytmas va to‘liq boradigan jarayon deb qabul qilish mumkin emas.

Molyar massalardan foydalanib, sof 6-gingerolning to‘liq va selektiv aylanishida nazariy massa nisbati 276,37/294,39 ≈ 0,9388 ekanligi hisoblanadi. Demak, 1,000 g sof 6-gingeroldan ko‘pi bilan taxminan 0,939 g 6-shogaol olinishi mumkin; bu hisoblangan stexiometrik chegara bo‘lib, tajribaviy unum emas. Ekstrakt massasiga nisbatan hisoblangan foiz mazkur nazariy nisbat bilan tenglashtirilmaydi.

Adabiyot dalillarining qiyosiy tahlili

Bhattarai va hammualliflar 37–100 °C oralig‘ida, pH 1, 4 va 7 bo‘lgan suvli eritmalarda 6-gingerol va 6-shogaol o‘zgarishini HPLC orqali kuzatgan. 6-Gingerolning eng yuqori barqarorligi pH 4 da qayd etilgan, pH 1 va 100 °C da esa qaytar jarayon taxminan ikki soat ichida muvozanatga yaqinlashgan [1]. Bu dalil kuchli kislotalilik reaksiya tezligiga ta’sir qilishini ko‘rsatadi, ammo muvozanatga yetishni 100 foizli konversiya deb talqin qilishga asos bermaydi.

1-jadval. Nashr etilgan tadqiqotlar va ularning talqin chegaralari

Manba va tizim	**Keltirilgan sharoit yoki natija**	**Maqbullashtirish uchun ma’nosi**
Suvli model eritma	pH 1, 4, 7; 37–100 °C; qaytar o‘zgarish	Vaqt tanlashda muvozanat va teskari reaksiyani hisobga olish
Quritilgan zanjabil va etanolli ekstraksiya	80 °C da quritish va ekstraksiya; solishtirma 6-shogaol miqdori taxminan 7 karra yuqori	Bu o‘sish sof moddaning molyar unumi emas

Nam issiqlik bilan ishlov	120 °C, 360 min; 2991 mg/kg 6-shogaol	Natija xomashyo va ishlov usuliga tegishli
Mikroto‘lqinli ekstraksiya	87% etanol; 100 °C; 0,431 g/20 ml; 5 min	Jami gingerol va shogaollar ekstraksiyasi optimumi; degidratatsiya optimumi emas

Ok va Jeong ishida 80 °C da quritilgan zanjabilni 80 °C da 95% etanol bilan ekstraksiyalash tekshirilgan variantlar ichida 6-shogaolni eng ko‘p bergan. Muzlatib quritilgan va xona haroratida ekstraksiyalangan namunaga nisbatan miqdor taxminan yetti marta oshgan; kislotalilikni pH 1 gacha o‘zgartirish ham shogaol bilan boyishni kuchaytirgan [2]. Ushbu natija quritish va ekstraksiya bosqichlarining qo‘shma ta’sirini ifodalaydi.

Jung va hammualliflar nam issiqlik ishlovining quruq issiqlikka nisbatan ko‘proq shogaol hosil qilishi mumkinligini ko‘rsatgan [3]. Bu holat “suv mavjud bo‘lsa degidratatsiya albatta susayadi” degan soddalashtirilgan fikrning yetarli emasligini bildiradi: matritsadagi issiqlik uzatilishi va moddalarning mavjudligi ham natijaga ta’sir qiladi. Turli maqolalardagi mg/kg, mg/g ekstrakt va molyar foiz qiymatlari namlik hamda hisoblash asosi moslashtirilmasdan o‘zaro taqqoslanmasligi kerak.

Mikroto‘lqinli ekstraksiya bo‘yicha Gonzalez-Gonzalez va hammualliflar Box–Behnken rejasidan foydalanib, jami gingerollar va shogaollar ajralishini maqbullashtirgan [6]. Bunday yondashuv omillar o‘zaro ta’sirini baholash uchun foydali, lekin maqsadli javob o‘zgarsa, optimum ham o‘zgaradi. Shuning uchun aynan degidratatsiya uchun 6-gingerol sarfi va yangi hosil bo‘lgan 6-shogaol miqdorini alohida aniqlash zarur.

Maqbullashtirish uchun taklif etilayotgan tajriba modeli

Ekstraksiya va degidratatsiya ta’sirlarini ajratish uchun avval bitta bir jinsli ekstrakt partiyasini tayyorlash, uning boshlang‘ich tarkibini o‘lchash va teng

aliquotalarga ajratish taklif etiladi. Xomashyoning botanik identifikatsiyasi, kelib chiqishi, saqlanish muddati, namligi va maydalash darajasi qayd etilishi lozim. Boshlang‘ich ekstraksiyani shogaol hosil bo‘lishi imkon qadar cheklangan yumshoq sharoitda bajarish, keyin t_o nuqtada 6-gingerol va 6-shogaolni miqdoriy aniqlash maqsadga muvofiq.

Dastlabki skrining uchun etanol–suv tarkibini 50% hajmiy ulushda bir xil saqlab, harorat, ishlov vaqti va qo‘shilgan HCl konsentratsiyasini o‘zgartirish taklif qilinadi. Quyidagi darajalar muallif tomonidan taklif etilayotgan boshlang‘ich qidiruv oralig‘i bo‘lib, tasdiqlangan optimal sharoitlar emas. Asosiy reja boshlanishidan oldin ekstraktning bir fazaliligi, analitlarning eruvchanligi va ko‘rsatilgan oraliqda o‘lchanadigan o‘zgarish mavjudligi tekshiriladi.

2-jadval. Uch omilli reja uchun taklif etilgan boshlang‘ich darajalar

Omil	**–1**	**0**	**+1**
A — haqiqiy suyuqlik harorati, °C	50	60	70
B — belgilangan haroratdagi vaqt, min	30	75	120
C — yakuniy qo‘shilgan HCl, mol/l	0,010	0,055	0,100

Etanol–suv aralashmasida oddiy pH elektrodining ko‘rsatkichi suvli eritmadagi termodinamik pH bilan aynan teng emas. Shu bois nazorat qilinadigan omil sifatida kislotaning yakuniy analitik konsentratsiyasi tanlanadi; apparant pH esa erituvchi tarkibi, kalibrlash tartibi va o‘lchash harorati bilan birga qo‘shimcha ko‘rsatkich sifatida qayd etiladi. Bir xil miqdorda kislota qo‘shilganda ekstraktning buferlash xususiyati tufayli turli partiyalarda apparant pH farqlanishi mumkin.

Uch omilli Box–Behnken rejasida 12 ta chekka kombinatsiya va markaz nuqtasidagi 5 ta mustaqil takror bilan 17 ta reaksiya tajribasi tashkil etish mumkin [7]. Kodlangan kombinatsiyalar (±1, ±1, 0), (±1, 0, ±1) va (0, ±1, ±1) guruhlaridan tuziladi;

har bir guruhda ishoralarning to‘rtta varianti bajariladi. Tajribalar tartibi tasodifiylashtiriladi. Bitta eritmaning takroriy HPLC in’eksiyalari mustaqil reaksiya takrori sifatida hisoblanmaydi.

Erituvchi ulushi, quruq modda konsentratsiyasi, aralashtirish tezligi, idish geometriyasi va to‘ldirish hajmi bir xil saqlanadi. Harorat vannadagi qiymat bilan cheklanmasdan, namuna ichida o‘lchanadi; qizdirib yetkazish va sovitish vaqti qayd etiladi. Qaytarma sovutkich ostida bug‘lanish kamaytiriladi, yakuniy massa yoki hajm nazorat qilinadi. Reaksiya yakunida namuna tez sovitilib, oldindan barqarorligi tekshirilgan erituvchi bilan suyultiriladi va tahlil qilinadi.

Nazoratlar sifatida boshlang‘ich ekstrakt, kislota qo‘shilmagan qizdirilgan namuna, qizdirilmagan kislotali namuna va reagent blanki olinadi. Reja xomashyo ta’sirini tekshirish bosqichida kamida uchta mustaqil ekstrakt partiyasida tasdiqlanadi. Agar eng yuqori javob qidiruv oralig‘ining chegarasida kuzatilsa, u ichki optimum sifatida e’lon qilinmaydi; qidiruv oralig‘i asoslangan holda kengaytiriladi yoki chegaraviy texnologik yechim sifatida tavsiflanadi.

Konversiya va selektivlikni hisoblash

Miqdoriy baholash massa konsentratsiyasi bilan cheklanmasdan mol sonlariga asoslanadi. G va S indekslari mos ravishda 6-gingerol va 6-shogaolni, 0 va t esa boshlang‘ich hamda yakuniy holatni bildiradi. Hajm o‘zgarishi va namuna olishdagi yo‘qotishlar tuzatilgandan so‘ng quyidagi ko‘rsatkichlar hisoblanadi:

$$X_G\ (\%) = 100 \times (n_{G,0} - n_{G,t}) / n_{G,0}$$

$$Y_{S,net}\ (\%) = 100 \times (n_{S,t} - n_{S,0}) / n_{G,0}$$

$$S_{S,net}\ (\%) = 100 \times (n_{S,t} - n_{S,0}) / (n_{G,0} - n_{G,t})$$

$$B_{G+S}\ (\%) = 100 \times (n_{G,t} + n_{S,t}) / (n_{G,0} + n_{S,0})$$

XG — konversiya; YS,net — 6-shogaolning sof ortishiga asoslangan molyar unum; SS,net — ko‘rinma net selektivlik; BG+S — ikki maqsadli analitning molyar

qaytarib topilish koʻrsatkichi. Boshlangʻich 6-shogaolni ayirish ekstraktda avvaldan mavjud mahsulotni yangi hosil boʻlgan modda deb hisoblashning oldini oladi. Boshlangʻich shogaol ham parchalanishi mumkinligi sababli net unum yalpi hosil boʻlish tezligini toʻliq ifodalamaydi. Konversiya nolga yaqin boʻlganda selektivlik nisbati beqaror boʻladi va uni alohida talqin qilish kerak.

BG+S butun ekstraktning toʻliq modda balansi emas. Uning pasayishi yon mahsulotlar hosil boʻlishi, choʻkish, adsorbsiya yoki namuna tayyorlashdagi yoʻqotishlarga ishora qilishi mumkin. Quruq ekstraktning umumiy chiqimi va 6-shogaolning mg/g quruq ekstrakt hamda mg/g quruq xomashyo koʻrinishidagi miqdori qoʻshimcha ravishda beriladi. Bu hisoblash asoslari konsentratsiyalanishni kimyoviy unumdan ajratishga yordam beradi.

Statistik tahlil va optimumni tasdiqlash

Maqbullashtirish uchun asosiy javob sifatida YS,net, cheklovchi javoblar sifatida esa selektivlik, analitlarning qaytarib topilishi va ishlov davomiyligini tanlash taklif etiladi. Kodlangan x_1, x_2 va x_3 omillar uchun ikkinchi darajali model quyidagicha yoziladi:

$$Y = \beta_0 + \Sigma\beta_i x_i + \Sigma\beta_{ii} x_i^2 + \Sigma_{i<j}\beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

Model koeffitsiyentlari faqat oʻlchangan natijalardan baholanadi. Dispersiya tahlili, qoldiqlar tuzilishi, modelning mos kelmasligi va bashorat intervali tekshiriladi; yuqori R^2 qiymatining oʻzi yetarli dalil emas. Markaz nuqtasi takrorlari sof xatoni baholashga xizmat qiladi. Oldindan tanlangan ishonchlilik darajasi, masalan 95%, barcha taqqoslashlarda bir xil qoʻllanadi. Bir nechta javob birlashtirilsa, maqsadlar vazni va qabul chegaralari natijalarga qarab emas, tahlildan oldin belgilanadi.

Bashorat qilingan eng maqbul nuqtada kamida uchta mustaqil reaksiya bilan tasdiqlovchi tekshiruv oʻtkazish taklif etiladi. Tajribaviy oʻrtacha qiymat bashorat intervaliga mos kelishi, yaqin sharoitlarda esa natija keskin buzilmasligi lozim. Harorat va vaqtning kichik ogʻishlariga chidamli ish oraligʻi amaliy jihatdan bitta

matematik maksimal nuqtadan foydaliroq bo‘lishi mumkin. Kinetik parametrlar uchun esa alohida vaqt qatori talab etiladi; bitta yakuniy nuqtadan tezlik konstantasi yoki faollanish energiyasi hisoblanmaydi.

Ekstraktning fizik-kimyoviy xarakteristikasi

Ekstrakt murakkab aralashma bo‘lganligi uchun uning rangi, zichligi yoki umumiy spektri 6-shogaol hosil bo‘lganini mustaqil tasdiqlamaydi. Kimyoviy tarkibni miqdoriy aniqlash fizik ko‘rsatkichlar bilan birgalikda olib borilishi kerak. Quyidagi jadval tahlil dasturini ifodalaydi; undagi ko‘rsatkichlar o‘lchangan natijalar emas.

3-jadval. Ekstraktni tavsiflash uchun taklif etilgan ko‘rsatkichlar

Ko‘rsatkich	**Usul va natija birligi**	**Talqin sharti**
6-Gingerol va 6-shogaol	HPLC–DAD; mg/g quruq ekstrakt, molyar nisbat	Har bir analit uchun alohida standart va kalibrlash
Quruq qoldiq	Validatsiyalangan gravimetriya; % yoki g/l	Quritish paytidagi kimyoviy o‘zgarishni tekshirish
Suv miqdori	Karl Fisher titrlash; %	Matritsaga mos reagent; ketonlar interferensiyasini tekshirish
Kislotalilik	Apparant pH va titrlanadigan kislotalilik	Erituvchi ulushi va o‘lchash harorati ko‘rsatiladi
Zichlik va sindirish ko‘rsatkichi	Piknometriya va refraktometriya; g/ml va nD^{20}	20 °C va bir xil quruq modda/erituvchi tarkibida

Rang va tiniqlik	CIELAB yoki belgilangan optik usul	Rang o‘zgarishi konversiyaning o‘zi emas
Tuzilish belgilari	ATR–FT–IR; zaruratda LC–MS va NMR	Standartlar bilan qiyoslash, aralashma ta’sirini ajratish
Qoldiq erituvchi va barqarorlik	Headspace GC; saqlashda HPLC nazorati	Qadoq, harorat, yorug‘lik va muddat qayd etiladi

HPLC–DAD tahlilini C18 fazada suv–atsetonitril yoki suv–metanol tizimidan boshlash mumkin; elyutsiya dasturi mavjud kolonna va ekstrakt uchun alohida ishlab chiqiladi. Deteksiya to‘lqin uzunligi har ikki standartning DAD spektri va sezgirligi asosida tanlanadi. Ushlanish vaqti standart qo‘shish usuli hamda spektr mosligi bilan tekshiriladi. Har bir moddaning detektor javobi farq qilishi sababli cho‘qqi yuzalari foizini to‘g‘ridan-to‘g‘ri massa foizi yoki molyar konversiya deb olish mumkin emas.

Analitik protseduraning maqsadga muvofiqligi selektivlik, ish diapazoni, aniqlik va pretsizionlik orqali baholanadi [8]. Mazkur ekstrakt uchun amaliy tekshiruvga kamida besh kalibrlash darajasi, bir necha konsentratsiyada standart qo‘shib qaytarib topish, kunlararo o‘lchash va filtrda analit yo‘qolishini tekshirishni kiritish taklif etiladi. Aniqlash va miqdoriy aniqlash chegaralari tanlangan usulga muvofiq belgilanadi. Kislota bilan ishlov berilgan namunadagi yangi cho‘qqilar maqsadli analitlardan ajralishi va eritmaning autosamplerda barqarorligi tekshirilishi lozim.

FT–IR talqinida 6-gingeroldagi alifatik gidroksil fragmentining yo‘qolishi va tutashgan karbonil tizimi paydo bo‘lishi e’tiborga olinadi. Biroq fenolik OH guruhi 6-shogaolda ham saqlanadi, suv va boshqa ekstrakt komponentlari esa keng OH yutilishiga hissa qo‘shadi. Shu sababli “OH tasmasi butunlay yo‘qoldi” degan mezon umumiy holda to‘g‘ri emas. Aniq to‘lqin sonlari faqat o‘lchangan spektrlardan belgilanadi; nazariy kutilmalar tajribaviy piklar sifatida keltirilmaydi.

Zaruratda ajratilgan fraksiya LC–MS va $^{1}H/^{13}C$ NMR orqali tekshiriladi. Molekulyar formula bo‘yicha hisoblangan monoisotopik $[M+H]^+$ qiymatlari 6-gingerol uchun m/z 295,1904, 6-shogaol uchun m/z 277,1798 bo‘lib, farq 18,0106 Da ga teng. Bular hisoblangan qiymatlardir. Gingerolning ion manbasida suv yo‘qotishi ham shogaol ioniga mos massa berishi mumkinligi sababli m/z 277,1798 ning o‘zi yetarli emas; xromatografik ajralish va standart bilan qiyoslash talab etiladi. NMRda olefin protonlari hamda uglerodlari tuzilish o‘zgarishini qo‘shimcha tekshiradi.

Natijalarni ilmiy talqin qilish chegaralari

Adabiyotlar tahlilidan kelib chiqadigan asosiy xulosa shuki, 6-shogaolga boyitish uchun “ko‘proq qizdirish” mezoni yetarli emas. Kimyoviy hosil bo‘lish, ekstraksion ajralish va keyingi yo‘qotishlar bitta analitik natijada birlashishi mumkin. Taklif etilgan yondashuv ushbu hissalarni boshlang‘ich nazorat, molyar hisoblash va barqarorlik tekshiruvi orqali ajratishga qaratilgan. Kuchli kislotali sharoitda yuqori javob kuzatilgan taqdirda ham neytrallash, tuz hosil bo‘lishi va keyingi ajratish bosqichidagi yo‘qotishlar yakuniy mahsulot bahosiga kiritiladi.

Ekstraktning antioksidant yoki boshqa biologik faolligi ushbu fizik-kimyoviy tahlildan avtomatik kelib chiqmaydi. Bunday xulosa uchun alohida nazoratli biologik tajriba talab etiladi. Xuddi shuningdek, taklif etilgan statistik reja bajarilmaguncha aniq optimal harorat, unum, regressiya koeffitsiyenti yoki statistik ahamiyatlilikni e’lon qilish mumkin emas. Mazkur ishning natijasi — mavjud dalillarni birlashtirgan va laboratoriyada tekshirilishi mumkin bo‘lgan maqbullashtirish hamda tavsiflash modelidir.

Xulosa

6-Gingerolning 6-shogaolga aylanishi β-gidroksiketon fragmentidan suv ajralishi bilan boradi; suvli muhitda qaytar gidratatsiya va muvozanat jarayonlari hisobga olinishi lozim. Nashr etilgan tadqiqotlar harorat, kislotalilik, ishlov vaqti

hamda xomashyo holatining ta’sirini ko‘rsatadi, ammo ular barcha ekstraktlar uchun yagona universal optimumni belgilamaydi.

Asoslangan maqbullashtirish 6-gingerol konversiyasi, 6-shogaolning net molyar unumi, selektivlik va analitlarning qaytarib topilishini birgalikda baholashga tayanishi kerak. Taklif etilgan uch omilli reja ushbu bog‘lanishlarni tekshirishga xizmat qiladi; maqbul nuqta mustaqil tajribalar bilan tasdiqlanadi. HPLC orqali miqdoriy aniqlashni fizik ko‘rsatkichlar va zaruratda FT–IR, LC–MS hamda NMR bilan to‘ldirish ekstraktning tarkibi, takrorlanuvchanligi va barqarorligini ishonchli tavsiflash imkonini beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

1. Bhattarai S., Tran V. H., Duke C. C. The stability of gingerol and shogaol in aqueous solutions. Journal of Pharmaceutical Sciences. 2001;90(10):1658–1664. https://doi.org/10.1002/jps.1116

2. Ok S., Jeong W. S. Optimization of extraction conditions for the 6-shogaol-rich extract from ginger (Zingiber officinale Roscoe). Preventive Nutrition and Food Science. 2012;17(2):166–171. https://doi.org/10.3746/pnf.2012.17.2.166

3. Jung M. Y., Lee M. K., Park H. J., Oh E. B., Shin J. Y., Park J. S., Jung S. Y., Oh J. H., Choi D. S. Heat-induced conversion of gingerols to shogaols in ginger as affected by heat type (dry or moist heat), sample type (fresh or dried), temperature and time. Food Science and Biotechnology. 2018;27(3):687–693. https://doi.org/10.1007/s10068-017-0301-1

4. National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Summary for CID 442793, (6)-Gingerol. https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/442793 (murojaat sanasi: 20.09.2026).

5. National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Summary for CID 5281794, Shogaol.

https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5281794 (murojaat sanasi: 20.09.2026).

6. Gonzalez-Gonzalez M., Yerena-Prieto B. J., Carrera C., Vázquez-Espinosa M., González-de-Peredo A. V., García-Alvarado M. Á., Palma M., Rodríguez-Jimenes G. del C., Barbero G. F. Determination of gingerols and shogaols content from ginger (Zingiber officinale Rosc.) through microwave-assisted extraction. Agronomy. 2023;13(9):2288. https://doi.org/10.3390/agronomy13092288

7. National Institute of Standards and Technology. Box–Behnken designs. NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods. Section 5.3.3.6.2. https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pri/section3/pri3362.htm (murojaat sanasi: 20.09.2026).

8. International Council for Harmonisation. Validation of Analytical Procedures Q2(R2). Final version, adopted 1 November 2023. https://database.ich.org/sites/default/files/ICH_Q2%28R2%29_Guideline_2023_1130.pdf (murojaat sanasi: 20.09.2026).