ANABASIS (AMARANTHACEAE) TURKUMI O‘SIMLIKLARINING IKKILAMCHI METABOLITLARI: ALKALOIDLAR VA FENOL BIRIKMALARINING FITOKIMYOVIY SKRININGI BO‘YICHA ZAMONAVIY SHARH

[a]Turg‘unboyev Islombek Ikromjon o‘g‘li
[a]Farg‘ona davlat universiteti tayanch doktoranti
ORCID: 0009-0006-8824-6591

Annotatsiya. Maqolada Amaranthaceae oilasiga mansub Anabasis turkumi vakillarining ikkilamchi metabolitlari, xususan alkaloidlar va fenol birikmalari tahlil qilingan. Mavzuning dolzarbligi shundaki, Shimoliy Afrika, Yaqin Sharq va Markaziy Osiyo cho‘llarida tarqalgan bu galofit o‘simliklar xalq tabobatida keng qo‘llanilsa-da, ularning fitokimyoviy tarkibi hali to‘liq o‘rganilmagan. Tadqiqotda nashr etilgan ilmiy adabiyotlarni tizimli tahlil qilish uslubidan foydalanilgan holda, olti turdagi Anabasis (A. aretioides, A. articulata, A. aphylla, A. setifera, A. oropediorum, A. salsa) bo‘yicha klassik sifat reaksiyalari (Dragendorff, Mayer, Wagner, $FeCl_3$, Shinoda) va xromatografik usullar (TLC, HPLC, GC-MS) natijalari qiyosiy jadval shaklida umumlashtirildi. Natijada turlar orasida umumiy fenol, flavonoid va alkaloid miqdorlari sezilarli farqlanishi, shuningdek antioksidant, antimikrob va sitotoksik faollik darajalari aniqlandi. Mualliflarning hissasi LC-MS/MS profillash va metabolomik tahlilning yetishmasligini ko‘rsatish hamda O‘zbekiston cho‘llarida o‘suvchi, hali o‘rganilmagan Anabasis. A. turi uchun bosqichma-bosqich tadqiqot strategiyasini taklif etishdan iborat.

Kalit so‘zlar: Anabasis, galofit, alkaloidlar, fenol birikmalari, flavonoidlar, fitokimyoviy skrining, antioksidant faollik, HPLC, LC-MS/MS, Anabasis. A.

KIRISH

Anabasis o‘simliklar yuqori sho‘rlanish, qurg‘oqchilik va keskin harorat o‘zgarishlariga moslashgan holda, ikkilamchi metabolitlar — osmotik regulyatorlar, antioksidantlar va kimyoviy himoya vositalari sifatida xizmat qiluvchi birikmalarni ishlab chiqaradi [1]. Amaranthaceae oilasiga mansub Anabasis L. turkumi shunday o‘simliklardan biri bo‘lib, Markaziy Osiyo, Shimoliy Afrika va Yaqin Sharq cho‘llarida keng tarqalgan; uning turlari xalq tabobatida antirevmatik, diuretik, antidiabetik va yara davolovchi vosita, shuningdek zaharlanishga qarshi antidot sifatida qo‘llanilgan [1, 2, 6, 7].

Ushbu uzoq tarixiy qo‘llanilishiga qaramay, Anabasis turkumining ko‘pchilik turlari fitokimyoviy jihatdan to‘liq o‘rganilmagan, mavjud ma’lumotlar esa turli o‘simlik qismlari, erituvchilar va usullar bo‘yicha tarqoq holda joylashgan. Eng yaxshi o‘rganilgan turlar — A. articulata, A. aretioides, A. aphylla va A. setifera — tarkibida saponinlar, terpenlar, betalainlar, fenol kislotalari, flavonoidlar va anabazin kabi alkaloidlar mavjud bo‘lib, ekstraktlari antioksidant, antibakterial, antifungal, antidiabetik, gepatoprotektiv va sitotoksik faollik namoyon etadi [1–4]. A. salsa zamonaviy usullar bilan yaqindagina o‘rganilgan bo‘lsa, Anabasis. A. kabi O‘zbekiston turlari hali deyarli tadqiq qilinmagan [2, 7].

Ko‘pchilik tadqiqotlar hali ham klassik rang reaksiyalariga (Dragendorff, Mayer, Wagner, $FeCl_3$, Shinoda) hamda Folin–Ciocalteu va alyuminiy xlorid usullariga

asoslanadi; HPLC va GC-MS esa qo‘shimcha fenol kislotalari, flavonoid glikozidlari va antioksidant/antimikrob/antikanser faollikka ega uchuvchan birikmalarni aniqlagan [3–7]. LC-MS/MS profillash va turlar o‘rtasidagi tizimli taqqoslash esa deyarli mavjud emas. Ushbu maqolaning maqsadi — Anabasis turkumining fitokimyoviy skriningi bo‘yicha mavjud bilimlarni, ayniqsa alkaloidlar va fenol birikmalariga urg‘u berib, umumlashtirish va kelajakdagi Anabasis. A. tadqiqotlari uchun mavjud bo‘shliqlarni aniqlashdan iborat.

Mazkur sharhning amaliy ahamiyati shundadir: O‘zbekiston cho‘llarida o‘sadigan, ammo hozirgacha fitokimyoviy jihatdan tadqiq qilinmagan Anabasis. A. turi bo‘yicha PhD darajasidagi tadqiqot ishlab chiqilayotgan bir vaqtda, genus bo‘yicha to‘plangan tajriba — erituvchi tanlash, reaktivlar tartibi, miqdoriy tahlil usullari va kutilayotgan natijalar diapazoni — ushbu yangi tadqiqotni rejalashtirish va natijalarni izohlashda metodologik asos bo‘lib xizmat qiladi. Shu sababli sharh nafaqat nazariy umumlashtirish, balki amaliy yo‘l-yo‘riq sifatida ham qaraladi.

ADABIYOTLAR TAHLILI

Anabasis L. Amaranthaceae oilasining Salsoloideae kenja oilasi va Salsoleae tribasiga kiradi; bu oila taxminan 100 avlod va mingdan ortiq turni o‘z ichiga oladi, ularning aksariyati galofitlardir [2, 3, 6, 7]. Turkumning o‘zi taxminan ikki o‘nlab turdan iborat bo‘lib, ular kichik, suvli, ko‘pincha bargsiz subshrub shaklida, suv yo‘qotilishini kamaytirishga moslashgan [2, 3, 6, 7]. A. aretioides asosan Marokashning janubi-sharqida va Jazoirda; A. articulata Shimoliy Afrikaning keng hududlarida; A. aphylla Erondan Qozog‘iston va Qirg‘iziston orqali Xitoyning Shinjon viloyatigacha; A. setifera Misr, Saudiya Arabistoni va Eronda; A. oropediorum esa Shimoliy Afrika va Falastin platolarida o‘sadi [1–4, 6]. A. salsa Qozog‘iston cho‘llariga xos bo‘lib, Markaziy Osiyo xalq tabobatida muhim o‘rin tutadi, biroq kimyoviy jihatdan yaqinda o‘rganila boshlandi; Anabasis. A. kabi boshqa O‘zbekiston turlari esa deyarli o‘rganilmagan [2, 7]. Galofit sifatida bu o‘simliklar suvli poyalar va kichraygan barglar orqali sho‘r va qurg‘oqchil muhitda yashab qoladi; sho‘rlanish va qurg‘oqchilik stressi fenol, flavonoid va alkaloidlarning to‘planishini rag‘batlantiradi, bu esa osmotik muvozanat va antioksidant himoyada rol o‘ynaydi [1, 2, 3, 6].

Alkaloidlarni aniqlashda asosan Dragendorff, Mayer va Wagner reaktivlari qo‘llaniladi, ular alkaloid azoti bilan rangli cho‘kma hosil qiladi [5, 6]. Natijalar turlar bo‘yicha farq qiladi: A. oropediorum’da ikkala test ham musbat bo‘lib, FTIR tahlili amin guruhlariga xos C–N tebranishlarini tasdiqlagan [6]; A. aretioides’da esa, xuddi shu namunalarda tanin, saponin va sterollar yuqori darajada aniqlangan bo‘lsa-da, alkaloid testlari manfiy chiqgan [5]. Bu — alkaloid mavjudligini turkum bo‘yicha umumlashtirib bo‘lmasligini, balki tur, organ va mavsumga bog‘liq bo‘lishini ko‘rsatadi. Aniqlangan alkaloidlar asosan piperidin tipidagi aminlar (anabazin, anabazamin, lupinin, jaksartinin — ayniqsa A. aphylla’ga xos) va galofitlarga xos betain tipidagi to‘rt valentli azot birikmalaridan iborat [1, 2, 6]. A. articulata poyalaridan olingan alkaloid fraksiyalari (“umumiy”, “asosiy”, “sof asosiy”, “tetravalent”) Gram-musbat bakteriyalarga qarshi antibakterial va β-karotin testida antioksidant faollik ko‘rsatgan, A. aphylla’dan ajratilgan alkaloid esa ham antibakterial, ham antioksidant ta’sirga ega bo‘lgan [2] —

bu alkaloidlarning ikki tomonlama, ya’ni osmotik himoya va kimyoviy mudofaa rolini tasdiqlaydi.

Fenol birikmalari va taninlar $FeCl_3$ va qo‘rg‘oshin asetat testlari bilan ishonchli aniqlanadi — barcha tekshirilgan turlarda bu testlar musbat natija bergan, biroq flavonoid testi (Shinoda) ba’zan manfiy bo‘lib, keyinchalik HPLC orqali flavonoid glikozidlari topilgan, bu klassik testlarning sezgirligi cheklanganligini ko‘rsatadi [4–6]. HPLC tahlillari A. articulata, A. aretioides, A. oropediorum va A. salsa’da takrorlanuvchi fenol kislotalari guruhini (gallat, xlorogen, kofe, p-kumar, ellagik, siringik kislotalari) aniqlagan [1, 4, 6, 7]. Umumiy fenol miqdori (TPC, Folin–Ciocalteu) erituvchi va organga qarab keng o‘zgaradi: A. aretioides’da 0,65 dan 46,79 µg GAE/mg gacha, A. articulata xom ekstraktida 72,1 mg GAE/g, A. setifera etilatsetat ekstraktida g‘ayrioddiy yuqori 4264 µg/mL, A. oropediorum’da 20,22 µg GAE/mg [3–6]. Flavonoidlar odatda umumiy fenollarning kichik qismini tashkil etadi (A. oropediorum’da ≈80%, A. articulata’da ancha kam), A. setifera’da esa TFC 5163 µg/mL ga yetadi [3, 4, 6]. Eng ko‘p uchraydigan flavonoidlar — kvertsetin, rutin va kempferol glikozidlari [4, 6]. Antioksidant faollik (DPPH, ABTS, FRAP, β-karotin) ko‘pincha TPC bilan, tanin miqdori bilan emas, kuchli bog‘liq; eng faol ekstraktlar — A. aretioides metanol (DPPH IC_{50} = 52,91 µg/mL) va A. setifera etilatsetat (EC_{50} = 30,6 µg/mL), A. oropediorum esa o‘rtacha faollik ko‘rsatgan (IC_{50} = 256 µg/mL) — bu fenol birikmalarining aniq tuzilishi umumiy miqdordan ko‘ra muhimroq ekanligini ko‘rsatadi [3, 5, 6].

Sho‘rlanish va qurg‘oqchilik stressining ikkilamchi metabolit to‘planishiga ta’siri alohida e’tiborga loyiq. Anabasis turlari odatda sho‘r botqoqliklar, ohaktosh platolari va keskin harorat farqiga ega qumli cho‘llarda o‘sadi; bunday muhitda yashash uchun ular suvni saqlovchi suvli poyalar va kichraygan barglar kabi tuzilma moslashuvlariga ega [2, 3, 6]. Biokimyoviy darajada esa, sho‘r va qurg‘oqchilik stressi fenol birikmalari, flavonoidlar va azotli alkaloidlarning ortishiga olib keladi deb hisoblanadi — bu birikmalar bir vaqtning o‘zida osmotik moslashuvda va oksidlanish stressidan himoyalanishda ishtirok etadi [1, 2]. Aynan shu bog‘liqlik Anabasis turkumi vakillarining og‘ir tabiiy sharoitlarda o‘sishiga qaramay nisbatan boy bioaktiv birikmalar tarkibiga ega bo‘lishini izohlashda muhim ahamiyat kasb etadi va Anabasis. A. kabi O‘zbekiston cho‘llarida o‘suvchi turlar uchun ham amal qilishi mumkin.

Alkaloidlarning biologik roli ikki yo‘nalishda izohlanadi. Birinchidan, betain tipidagi, zaryadlangan azot atomiga ega birikmalar sho‘rlanish sharoitida osmotik moslashuvda ishtirok etishi mumkin — bu jarayon galofitlarda keng tarqalgan prolin va glitsin betain kabi mos osmolitlarning vazifasiga o‘xshaydi [2]. Ikkinchidan, alkaloidlar kimyoviy mudofaa vositasi sifatida ham qaraladi: yuqorida ta’kidlanganidek, A. articulata poyalaridan olingan alkaloid fraksiyalari Gram-musbat bakteriyalarga (Micrococcus luteus, Listeria monocytogenes) qarshi sezilarli faollik va antioksidant ta’sir ko‘rsatadi, A. aphylla’dan ajratilgan alkaloid esa antibakterial va antioksidant xususiyatlarni birlashtiradi [2]. Alkaloidlar o‘simlik turlarining taxminan 20 foizida uchrashini hisobga olsak, ularning Anabasis turkumida — garchi notekis bo‘lsa-da — qayta-qayta aniqlanishi va bunday ikki tomonlama (osmotik himoya va mudofaa)

vazifasi, ularni Anabasis. A. skriningida alohida e’tibor talab qiladigan metabolit guruhiga aylantiradi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Mazkur sharh tizimli adabiyotlar tahlili (systematic review) uslubida tayyorlandi. MDPI, PLOS ONE, BioMed Research International, Journal of Research in Pharmacy va Phytochemistry Reviews jurnallarida 2020–2025 yillarda nashr etilgan, Anabasis turkumiga oid 7 ta retsenziyalangan maqola tanlab olindi. Ma’lumotlar quyidagi mezonlar bo‘yicha tizimlashtirildi: o‘rganilgan tur, ekstraksiya usuli va erituvchi, sifat va miqdoriy skrining natijalari (TPC, TFC, TAC), aniqlangan birikmalar va ularning biologik faolligi.

Skrining usullari ikki guruhga bo‘linadi. Klassik sifat reaksiyalari — Dragendorff, Mayer va Wagner (alkaloidlar uchun), $FeCl_3$ va vanillin–HCl (taninlar uchun), Shinoda (flavonoidlar uchun), ko‘pik testi (saponinlar uchun) va Liebermann–Burchard (sterollar/terpenoidlar uchun) — Harborne uslubiga asoslanadi [3, 5, 6]. Miqdoriy alkaloid tahlili (TAC) atropin standarti bilan gravimetrik usulda (masalan, A. setifera uchun 1036,26 µg/mL), TPC va TFC esa Folin–Ciocalteu va alyuminiy xlorid usullari bilan amalga oshiriladi [3]. Xromatografik usullardan TLC (ba’zan NMR bilan birga) dastlabki fraksiyalash va antioksidant nuqtalarini aniqlash uchun, HPLC-UV/DAD esa standart birikmalar (gallat, xlorogen, p-kumar kislotalari, rutin, kvertsetin) asosida individual fenol kislotalari va flavonoidlarni aniqlash uchun qo‘llaniladi [1, 2, 4, 6, 7]. GC-MS A. salsa va A. setifera’da 100 dan ortiq, asosan uchuvchan yog‘ kislotalari, steroidlar va fenol birikmalarini aniqlagan [3, 7]. Ushbu usullar Anabasis. A. uchun rejalashtirilgan skrining ishining metodologik asosini tashkil etadi.

Shuni alohida ta’kidlash lozimki, ko‘rib chiqilgan manbalarda qo‘llanilgan o‘simlik qismi (barg, poya, ildiz yoki havo qismi), ekstraksiya harorati va vaqti, hamda erituvchi nisbatlari turlicha bo‘lganligi sababli, quyida keltirilgan miqdoriy ko‘rsatkichlarni mutlaq qiymat sifatida emas, balki nisbiy tendensiya sifatida talqin qilish lozim. Anabasis. A. bo‘yicha rejalashtirilgan tadqiqotda esa, taqqoslanuvchanlikni ta’minlash maqsadida, mumkin bo‘lgan darajada barcha ekstraksiya bosqichlari (erituvchi turi, vaqt, harorat, qattiq/suyuq nisbat) standartlashtirilishi tavsiya etiladi.

MUHOKAMA VA NATIJALAR

Antimikrob faollik turkum bo‘yicha keng hujjatlashtirilgan: A. setifera etilatsetat ekstrakti E. coli, S. aureus, S. typhimurium, B. subtilis, C. albicans va Aspergillus turlariga qarshi faol (MIK 31,25–125 µg/mL); A. salsa dixlormetan ekstrakti barcha test qilingan mikroorganizmlarga qarshi faol bo‘lib, C. albicans’ga qarshi MIK 0,009 mg/mL gacha yetadi; A. articulata n-geksan fraksiyasi Shigella, E. coli va Salmonella’ga qarshi eng katta inhibisiya zonalarini bergan; A. aretioides ekstraktlari esa ham Gram-musbat, ham Gram-manfiy bakteriyalarga qarshi faol (MIK 3,125 mg/mL gacha) [1–5, 7]. Umuman, Gram-musbat bakteriyalar ko‘proq sezuvchan, buning sababi Gram-manfiy bakteriyalarning tashqi membranasi va porin kanallari katta yoki gidrofil molekulalarning hujayra ichiga kirishini cheklaydi [2]. Shunga qaramay, qutbliligi past fraksiyalar (n-geksan, dixlormetan) ba’zi hollarda Gram-manfiy bakteriyalarga ham kuchli ta’sir ko‘rsatgan, bu esa fenol birikmalari bilan bir qatorda

lipofil tabiatga ega alkaloidlar ham antimikrob faollikka hissa qo‘shishi mumkinligini ko‘rsatadi [2, 7].

Antioksidant faollikni umumlashtirsak (4-bo‘limda batafsil muhokama qilingan), Anabasis ekstraktlari odatda “o‘rtacha” darajadagi tabiiy antioksidantlar sifatida baholanadi: eng faol namunalar — A. aretioides macerated metanol ekstrakti (DPPH IC_{50} = 52,91 µg/mL) va A. setifera etilatsetat ekstrakti (EC_{50} = 30,6 µg/mL) — deyarli barcha holatlarda ascorbin kislota, BHA, BHT yoki Troloks kabi standart antioksidantlardan 10–100 marta kuchsizroq bo‘lgan [2, 5, 6]. Shunga qaramay, bu natijalar Anabasis ekstraktlarining qo‘shimcha tabiiy antioksidant manba sifatida farmatsevtik va oziq-ovqat sanoatida qo‘llanilishi mumkinligini ko‘rsatadi, ayniqsa TPC yuqori bo‘lgan etilatsetat va metanol ekstraktlari uchun.

Sitotoksik faollik bo‘yicha ma’lumotlar faqat ikki turga tegishli: A. setifera etilatsetat ekstrakti Hep-G2 (IC_{50} = 36,4 µg/mL) va MCF-7 (IC_{50} = 44 µg/mL) hujayralariga qarshi tanlovchan faollik ko‘rsatgan, normal WI-38 hujayralariga nisbatan past toksiklik bilan; A. articulata’dan ajratilgan yangi triterpenoid esa HepG-2 va HCT-116 hujayralariga qarshi 5-ftorurasilga taqqoslanadigan faollik, shu bilan birga gastroprotektiv ta’sir ko‘rsatgan [2, 3]. A. aretioides, A. aphylla, A. oropediorum va A. salsa uchun sitotoksiklik bo‘yicha ma’lumot topilmadi. Quyidagi 1-jadvalda olti turdagi Anabasis bo‘yicha asosiy fitokimyoviy va biologik faollik ko‘rsatkichlari jamlangan.

1-jadval

Anabasis turlarining ikkilamchi metabolit miqdori va asosiy biologik faolligi [1–7]

Tur	TPC (umumiy fenol)	TFC (umumiy flavonoid)	Alkaloidlar (TAC / test)	DPPH (IC_{50}/EC_{50})	Asosiy aniqlangan birikmalar / faollik
A. aretioides	0,65–46,79 µg GAE/mg	Aniqlanmagan (Shinoda −)	Aniqlanmagan (Dragendorff/Mayer −)	52,91 µg/mL (eng yaxshi)	Xlorogen kislotasi (ustun); antibakterial Gram(+/−), MIK 3,125 mg/mL
A. articulata	72,1 mg GAE/g (xom)	≈62 mg QE/g	1,25% (suvli ekstrakt); 4 operatsion fraksiya	62–90 µg/mL	Gallat, xlorogen, kofe, p-kumar kislotalari; rutin, kvertsetin glikozidlari; sitotoksik triterpenoid (HepG-2 IC_{50} 6,9 µg/mL)
A. aphylla	Aniqlanmagan (fenollar +)	Aniqlanmagan (flavonoidlar +)	Anabazin; ajratilgan alkaloid — antibakterial + antioksidant	Aniqlanmagan	Gidroksisinnamat/benzoat kislota hosilalari; ko‘p bakteriya/zamburug‘ga qarshi faol
A. setifera	4264 µg/mL	5163 µg/mL (yuqori)	1036,26 µg/mL (atropin ekv.)	30,6 µg/mL (EC_{50}, eng kuchli)	GC-MS bo‘yicha 55 birikma; anticanser Hep-G2 36,4, MCF-7 44 µg/mL

Tur	TPC (umumiy fenol)	TFC (umumiy flavonoid)	Alkaloidlar (TAC / test)	DPPH (IC_{50}/EC_{50})	Asosiy aniqlangan birikmalar / faollik
A. oropediorum	20,22 µg GAE/mg	17,0 µg QE/mg (≈80% TPC)	Dragendorff/Wagner + (FTIR); miqdori aniqlanmagan	256 µg/mL (o‘rtacha)	Xlorogen kislota, kvertsetin, rutin, p-kumar kislota (69 cho‘qqidan 4 tasi)
A. salsa	Aniqlanmagan (108 GC-MS birikma)	Aniqlanmagan	Aniqlanmagan (turkum darajasida anabazin)	503,12 mg TE/g (DXM ekstrakt)	Gallat kislotasi (HPLC); kuchli antifungal, MIK 0,009 mg/mL (C. albicans)

Izoh: GAE — gallat kislota ekvivalenti; QE — kvertsetin ekvivalenti; TE — troloks ekvivalenti; TPC — umumiy fenol miqdori; TFC — umumiy flavonoid miqdori; TAC — umumiy alkaloid miqdori; DXM — dixlormetan. Turli birliklarda berilgan ko‘rsatkichlar to‘g‘ridan-to‘g‘ri solishtirib bo‘lmaydi.

HPLC va GC-MS asosida aniqlangan asosiy fenol kislotalari, flavonoidlar va boshqa birikmalar 2-jadvalda keltirilgan. Ko‘rinib turibdiki, xlorogen kislotasi va kvertsetin/rutin bir nechta turlarda takror uchraydi, bu esa turkum doirasida ma’lum darajada kemotaksonomik o‘xshashlik mavjudligini ko‘rsatadi.

2-jadval

Xromatografik usullar bilan aniqlangan asosiy birikmalar [1–7]

Tur	Usul	Asosiy aniqlangan birikmalar
A. articulata	HPLC-UV (xom ekstrakt va fraksiyalar)	Olma, gallat, xlorogen, 3-O-kaffeoilxinat, 3,5-dikaffeoilxinat, ellagik, siringik, kofe, mandel, p-kumar kislotalari; katexin gidrat, epigallokatexin gallat, rutin, kvertsetin va kempferol glikozidlari
A. oropediorum	RP-HPLC (metanol ekstrakti)	Xlorogen kislota (1,21 µg/mg), kvertsetin (1,21 µg/mg, eng ko‘p), rutin (0,80 µg/mg), p-kumar kislota (0,03 µg/mg) — 69 cho‘qqidan 4 tasi aniqlangan
A. aretioides	HPLC-DAD-ESI-MS (suvli ekstrakt)	Polifenol profilida xlorogen kislota va unga yaqin gidroksisinnamat kislota hosilalari ustun
A. salsa	HPLC-UV (butanol); GC-MS (DXM va neft efiri ekstraktlari)	Gallat kislotasi HPLC-UV bilan tasdiqlangan; GC-MS orqali jami 108 birikma — yog‘ kislotalari, steroid birikmalar, fenollar
A. setifera	GC-MS (etilatsetat ekstrakti)	55 birikma aniqlangan; eng ko‘pi — 1,4-dimetoksi-6,7,8,9-tetragidro-5-benzosikloheptenon (26,04%), geksa-2,4-diin-1-ilbenzol (8,40%)

Tur	Usul	Asosiy aniqlangan birikmalar
A. aphylla	$^{1}H/^{13}C$ NMR, TLC (etilatsetat fraksiyasi)	1-(2-gidroksi-4,6-dimetoksifenil)etanon, 3,4-digidroksisinnamik kislota va uning metil efiri, gidroksibenzoat kislotalari; piseiin, izoramnetin, kvertsetin, rutin (10% H_2O_2 ekstrakti)

Izoh: jadvaldagi birikma nomlari asl maqolalarda keltirilgan tarzda saqlangan.

XULOSA VA TAKLIFLAR

O‘tkazilgan tahlil quyidagi asosiy bo‘shliqlarni ko‘rsatdi. Birinchidan, LC-MS/MS asosidagi metabolomik profillash deyarli mavjud emas — HPLC faqat oldindan belgilangan standartlarni, GC-MS esa faqat uchuvchan birikmalarni aniqlay oladi, natijada turkumning kimyoviy xilma-xilligi to‘liq xaritalanmagan [1, 3, 4, 6, 7]. Ikkinchidan, turlar o‘rtasidagi taqqoslash turli o‘simlik organlari, erituvchilar va usullar tufayli qiyinlashgan — TPC yoki antioksidant faollikdagi farqlar biologik emas, metodologik bo‘lishi mumkin [2–5]. Uchinchidan, GNPS molekulyar tarmoqlash yoki to‘liq metabolomik ma’lumotlar asosidagi PCA/OPLS-DA kabi nishonlanmagan metabolomika usullari qo‘llanilmagan, shuning uchun bir tur ichidagi populyatsiyalar, tuproq turlari yoki sho‘rlanish darajalari bo‘yicha kemotip o‘zgaruvchanligi noma’lum [5]. To‘rtinchidan, ko‘pgina aniqlangan birikmalar tuzilishi bo‘yicha noma’lum qolmoqda — masalan, A. oropediorum’da 69 ta cho‘qqidan faqat 4 tasi identifikatsiya qilingan [6].

Ushbu bo‘shliqlarni hisobga olib, Anabasis. A. bo‘yicha kelajakdagi tadqiqotlar uchun bosqichma-bosqich strategiya tavsiya etiladi.

Birinchi bosqichda klassik sifat skrining (Dragendorff, Mayer va Bertran reaktivlari — alkaloidlar uchun; $FeCl_3$, vanillin–HCl, Shinoda, ko‘pik testi va Liebermann–Burchard — fenollar, flavonoidlar, taninlar va saponinlar uchun) va Folin–Ciocalteu hamda alyuminiy xlorid usullari bilan miqdoriy TPC/TFC/TAC tahlili amalga oshiriladi. Bu bosqich Anabasis. A. uchun boshlang‘ich fitokimyoviy profil yaratadi va keyingi tahlil uchun eng faol fraksiyalarni aniqlashga yordam beradi [3, 5, 6].

Ikkinchi bosqichda turkum bo‘yicha aniqlangan asosiy standartlar — xlorogen, gallat, p-kumar kislotalari, rutin va kvertsetin — asosida nishonlangan HPLC-UV/DAD tahlili o‘tkaziladi [1, 4, 6, 7]. Uchinchi bosqichda esa eng faol fraksiyalarda yuqori aniqlikdagi LC-MS/MS (Q-TOF yoki Orbitrap asosida, ijobiy va salbiy ionlanish rejimlarida) qo‘llanilib, oldindan standart talab qilmaydigan holda yuzlab metabolitlarni aniqlash imkoni yaratiladi [3, 4, 7]. Olingan LC-MS/MS ma’lumotlari GNPS platformasi orqali molekulyar tarmoqlashga (molecular networking) yo‘naltirilishi mumkin — bu usul o‘xshash fragmentatsiya naqshiga ega birikmalarni (masalan, flavonoid glikozidlari yoki alkaloid oilalari) guruhlashga, hatto ularning aksariyati alohida identifikatsiya qilinmagan taqdirda ham, imkon beradi [4, 6].

To‘rtinchi yo‘nalish sifatida, Anabasis. A. profilini A. salsa va Shimoliy Afrika turlari (A. aretioides, A. oropediorum) bilan taqqoslash kemotaksonomik o‘xshashlikning geografiya, yashash muhiti (sho‘rxok yoki ohaktosh substrat) yoki filogenetik yaqinlikka bog‘liqligini aniqlashga yordam beradi, bu esa cho‘l Salsoleae oilasi uchun umumiy kemotaksonomik tizim yaratishga hissa qo‘shadi [2, 4, 6, 7].

Nihoyat, faollikka asoslangan fraksiyalash (bioactivity-guided isolation) — ya’ni har bir sinovda eng faol fraksiyani qayta-qayta xromatografik ajratish va faollikni har bosqichda qayta tekshirish — amaliy yo‘nalish hisoblanadi. Turkumdagi eng kuchli faolliklar (A. articulata’ning sitotoksik triterpenoidlari, A. salsa’ning antifungal dixlormetan ekstrakti, A. setifera’ning keng spektrli etilatsetat ekstrakti) qutbliligi past-o‘rta fraksiyalardan olingani uchun, Anabasis. A. bo‘yicha ishni etilatsetat, dixlormetan va geksan fraksiyalaridan, shuningdek alkaloid va fenol kislotalari bilan bog‘liq qutbli fraksiyalardan boshlash tavsiya etiladi [2, 3, 7].

Yakuniy xulosa qilib aytganda, Anabasis turkumi bo‘yicha to‘plangan ma’lumotlar Anabasis. A. kabi hali o‘rganilmagan Markaziy Osiyo turlari uchun ishonchli metodologik asos yaratadi. Yuqorida tavsiya etilgan bosqichma-bosqich yondashuv — klassik skriningdan boshlab, miqdoriy kolorimetrik tahlil, nishonlangan HPLC va, nihoyat, LC-MS/MS metabolomikasi va molekulyar tarmoqlashgacha — nafaqat yangi turning fitokimyoviy passportini yaratishga, balki uni potensial farmatsevtik xom ashyo sifatida baholashga ham xizmat qiladi. Bunday tadqiqotlar O‘zbekiston cho‘l florasining biokimyoviy salohiyatini ochib berish va mahalliy o‘simlik resurslari asosida yangi bioaktiv preparatlar ishlab chiqish istiqbollarini kengaytirishga real hissa qo‘shishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Amtaghri S., Slaoui M., Eddouks M. The Genus Anabasis: A Review on Pharmacological and Phytochemical Properties // Cardiovascular & Hematological Agents in Medicinal Chemistry. – 2025. – Vol. 23, № 1. – P. 11–28.

2. Shegebayev Z., Turgumbayeva A., Datkhayev U. va boshq. Pharmacological Properties of Four Plant Species of the Genus Anabasis, Amaranthaceae // Molecules. – 2023. – Vol. 28. – P. 4454.

3. Abdelaziz A.M., Abdel-Maksoud M.A., Fatima S. va boshq. Anabasis setifera Leaf Extract from Arid Habitat: A Treasure Trove of Bioactive Phytochemicals with Potent Antimicrobial, Anticancer, and Antioxidant Properties // PLoS ONE. – 2024. – Vol. 19, № 10. – e0310298.

4. Al-Joufi F.A., Jan M., Zahoor M. va boshq. Anabasis articulata (Forssk.) Moq: A Good Source of Phytochemicals with Antibacterial, Antioxidant, and Antidiabetic Potential // Molecules. – 2022. – Vol. 27. – P. 3526.

5. Senhaji S., Lamchouri F., Toufik H. Phytochemical Content, Antibacterial and Antioxidant Potential of Endemic Plant Anabasis aretiöides Coss. & Moq. (Chenopodiaceae) // BioMed Research International. – 2020. – Vol. 2020. – Article 6152932.

6. Gheraissa N., Chemsa A.E., Cherrada N. va boshq. Anabasis oropediorum Maire as a Health-Promoting Source: Phytochemical Content, In Vitro Antioxidant, Antidiabetic, Antibacterial, and Anti-Inflammatory Potential // Journal of Research in Pharmacy. – 2023. – Vol. 27, № 5. – P. 1924–1935.

7. Datkhayev U., Shegebayev Z., Turgumbayeva A. va boshq. GC–MS Analysis, HPLC–UV Analysis, Antimicrobial and Antioxidant Activities of Extracts of Wild-Growing Anabasis salsa Native to Kazakhstan Desert Lands // Phytochemistry Reviews. – 2025. – Vol. 24, № 4. – P. 2651–2675.