ISNN 3030-3907

2026
JUNE
ISSUE - 6
VOLUME -4

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

IYUN 2026
Issue - 6, VOLUME – 4

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

TEPHROMELA ATRA LISHAYNIGINI KIMYOVIY TARKIBI VA BIOLOGIK FAOLLIGI

Hoshimova Shaxnoza Rarshanbek qizi
Farg‘ona davlat universiteti tayanch doktoranti
Ergashova Oyzodaxon Raxmatjon qizi
Farg‘ona davlat universiteti kimyo mutaxassisligi magistranti
Sherg‘oziev Qilichbek Marufjon o‘g‘li
Farg‘ona davlat universiteti kimyo kafedrasi katta o‘qituvchisi (PhD)
E-mail: qilichbek1000@gmail.com
Egamberdiyev Sobirjon Sulton o‘g‘li
O‘zR FA S.Yu. Yunusov nomidagi O‘simlik moddalari kimyosi instituti stajyor tadqiqotchisi

Annotatsiya. Ushbu maqolada Tephromelataceae oilasiga mansub lishaylik turi — Tephromela atra (Huds.) Hafellnerning kimyoviy tarkibi, biologik faolligi va o‘rganilganlik darajasi bo‘yicha adabiyotlardagi ma’lumotlar tizimli tahlil qilingan. 1762-yildan 2025-yilgacha bo‘lgan davrdagi 15 ta asosiy ilmiy manbaga asoslanilgan. Tephromela atradan 8 ta ikkilamchi metabolit ajratilganligi aniqlangan: atranorin va uning ikkita hosilasi, α-alektoron kislota, α-kollatol kislota, β-kollatol kislota va 2008-yilda kashf etilgan yangi tabiiy modda — dezoksikollatol kislota. β-Kollatol kislotaning superoksid-anion radikal yo‘q qilish faolligi (IC_{50} = 122 μM) etalon preparat kvertsetindan (IC_{50} = 754 μM) 6 barobar kuchliroq ekanligi aniqlangan. Antimikrobiyal tadqiqotlarda α-alektoron kislota va α-kollatol kislota 11 tur bakteriya, 9 tur zamburug‘ va 4 tur achitqiga nisbatan keng spektrli inhibitor ta’sir ko‘rsatgan, bunda Bacillus subtilis ga nisbatan eng past MIC qiymatlari qayd etilgan. Filogenetik tahlil turing 15 ta monofiletik kladdan iborat ekanligini ko‘rsatgan. Klinik sinovlar, in vivo farmakologiya va Markaziy Osiyo populyatsiyalari hali o‘rganilmagan va kelajak tadqiqotlar uchun istiqbolli yo‘nalishlar sifatida belgilangan.

Kalit so‘zlar: Tephromela atra; lishaylik; depsidon; β-kollatol kislota; dezoksikollatol kislota; antimikrobiyal; antioksidant; Trebouxia; filogenetika

Аннотация. В данной статье проведён систематический анализ литературных данных о химическом составе, биологической активности и степени изученности лишайникового вида Tephromela atra (Huds.) Hafellner, относящегося к семейству Tephromelataceae. Работа основана на 15 ключевых научных источниках за период с 1762 по 2025 год. Установлено, что из Tephromela atra выделено 8 вторичных метаболитов: атранорин и два его производных, α-алекторовая кислота, α-коллатоловая кислота, β-коллатоловая кислота, а также новое природное соединение — дезоксиколлатоловая кислота, открытое в 2008 году. Выявлено, что

ISSN 3030-3907

активность β-коллатоловой кислоты в отношении подавления супероксид-анион-радикала (IC_{50} = 122 мкМ) в 6 раз превосходит эталонный препарат кверцетин (IC_{50} = 754 мкМ). В антимикробных исследованиях α-алекторовая кислота и α-коллатоловая кислота продемонстрировали широкий спектр ингибирующего действия в отношении 11 видов бактерий, 9 видов грибов и 4 видов дрожжей, при этом наименьшие значения МИК были зафиксированы в отношении Bacillus subtilis. Филогенетический анализ показал, что вид состоит из 15 монофилетических клад. Клинические испытания, фармакология in vivo и центральноазиатские популяции остаются неизученными и обозначены как перспективные направления для будущих исследований.

Ключевые слова: Tephromela atra; лишайник; депсидон; β-коллатоловая кислота; дезоксиколлатоловая кислота; антимикробный; антиоксидант; Trebouxia; филогенетика.

Abstract. This review systematically analyses the chemical composition, biological activity and research status of the cosmopolitan crustose lichen Tephromela atra (Huds.) Hafellner (Tephromelataceae), based on 15 key scientific publications spanning 1762–2025. Eight secondary metabolites have been isolated from T. atra: atranorin and two derivatives in the cortex, and α-alectoronic acid, α-collatolic acid, β-collatolic acid, and the new natural compound deoxycollatolic acid (first reported in 2008) in the medulla. β-Collatolic acid demonstrated superoxide anion radical scavenging activity (IC_{50} = 122 μM) six-fold stronger than quercetin (IC_{50} = 754 μM). Antimicrobial screening of α-alectoronic acid and α-collatolic acid against 11 bacterial, 9 fungal and 4 yeast species showed broad-spectrum inhibitory activity, with the lowest MIC values recorded against Bacillus subtilis. Phylogenetic analysis revealed 15 monophyletic clades within T. atra. Clinical trials, in vivo pharmacology and Central Asian populations remain unstudied and are identified as priority directions for future research.

Keywords: Tephromela atra; lichen; depsidon; β-collatolic acid; deoxycollatolic acid; antimicrobial; antioxidant; Trebouxia; phylogenetics

KIRISH.

Lishayniklar — zamburug‘ va fotosintez qiluvchi organizmlar (suvo‘t yoki sianobakteriya) o‘rtasidagi simbioz asosida hosil bo‘ladigan alohida hayot shaklidir. Dunyo bo‘ylab taxminan 20 000 tur qayd etilgan bo‘lib, ular ikkilamchi metabolitlarning boy va tabiiy manbalari sifatida farmakologiya, biotexnologiya va ekologiya sohalarida katta ahamiyatga ega [1, 2].

Tephromela atra (Huds.) Hafellner — *Tephromelataceae* oilasiga mansub qobiqsimon (crustose) lishaylik bo‘lib, 1762-yilda William Hudson tomonidan

ISSN 3030-3907

Flora Anglica asarida Lichen ater nomi bilan birinchi marta tasvirlangan. Zamonaviy taksonomik nomini 1983-yilda Josef Hafellner bergan [3]. Bu tur kosmopolit tabiatiga ko‘ra Antarktidadan tortib O‘rta yer dengizi havzasigacha turli iqlim mintaqalarida uchraydi va lishayniklar ekologiyasi hamda evolyutsiyasini o‘rganishda dunyo miqyosidagi model tur sifatida tan olingan [4, 5].

T. atra ning kimyoviy tarkibiga oid birinchi maxsus fitokimyoviy tadqiqot 2008-yilda Millot va boshqalar tomonidan o‘tkazilgan bo‘lib, ularda 6 ta ma’lum birikma va bitta yangi tabiiy modda — dezoksikollatol kislota ajratib olingan [6]. 2023-2024-yillarda Alzebair va boshqalar tomonidan *T. atra* ning antimikrobiyal va antioksidant faolligi birinchi marta keng qamrovli tarzda o‘rganilgan [1, 2].

Shu bilan birga, bu turning klinik farmakologiyasi, in vivo biologik ta’siri va bir qator geografik populyatsiyalari hali etarli darajada o‘rganilmagan. Ayniqsa, Markaziy Osiyo, jumladan, O‘zbekiston hududidagi populyatsiyalar ilmiy adabiyotlarda deyarli qayd etilmagan. Ushbu adabiyotlar sharhining maqsadi — *T. atra*ga oid kimyoviy, biologik, filogenetik va ekologik ma’lumotlarni tizimlashtirish, o‘rganilganlik darajasini baholash hamda kelajak tadqiqotlar uchun ustuvor yo‘nalishlarni belgilashdan iborat.

MATERIAL VA USULLAR.

Adabiyotlarni tanlash mezonlari

PubMed, Web of Science, Scopus, Google Scholar, ScienceDirect va bioRxiv ma’lumotlar bazalarida quyidagi kalit so‘zlar yordamida qidiruv amalga oshirildi: "*Tephromela atra*", "Tephromela chemistry", "collatolic acid", "alectoronic acid", "Lecanora atra" va ularning kombinatsiyalari.

Qidiruv davri: 1762-yildan 2026-yil maygacha. Asosiy mezonlar: (1) *T. atra* ga to‘g‘ridan-to‘g‘ri tegishli bo‘lgan original tadqiqot maqolalari; (2) kimyoviy, biologik yoki filogenetik ma’lumot o‘z ichiga olgan ishlar; (3) faqat yirik va nufuzli nashrlarda chop etilgan (yoki oldindan chop etish serverlarida joylashtirilgan) maqolalar. Natijada 15 ta asosiy manba tanlab olindi.

Taksonomik tasnif va nomenklatura

Turning taksonomik holati GBIF (Global Biodiversity Information Facility) va Index Fungorum ma’lumotlar bazalari asosida tekshirildi. Sinonimlar ro‘yxati WoRMS (World Register of Marine Species) va MycoBank platformalaridan olingan.

Ma’lumotlarni tizimlashtirish

Ma’lumotlar to‘rt yo‘nalish bo‘yicha tizimlashtirildi: (I) kimyoviy tarkib va metabolitlar profili; (II) biologik faollik — antioksidant va antimikrobiyal; (III) molekulyar biologiya va filogenetika; (IV) geografik tarqalish va ekologiya.

NATIJALAR.

ISSN 3030-3907

T. atra Tephromelataceae oilasining tip turi bo‘lib, uning zamonaviy taksonomik holati quyidagicha:

1-jadval.

Tephromela atraning taksonomik tasnifi (GBIF, 2024 [13]).

Taksonomik daraja	Nomi
Saltanat	Fungi
Bo‘lim	Ascomycota
Sinf	Lecanoromycetes
Tartib	Lecanorales
Oila	*Tephromelataceae*
Avlod	Tephromela M. Choisy, 1929
Tur	*T. atra* (Huds.) Hafellner, 1983

Morfologik jihatdan *T. atra* qobiqsimon tallusni hosil qiladi. Tallus kulrang-yashildan qo‘ng‘ir-kulranggacha ranglarda bo‘lib, uning kengligi 15 sm gacha yetishi mumkin. Turning diagnostik belgisi K+ binafsha munosabat beruvchi epitetsiydir — bu depsidon guruhidagi moddalar mavjudligini ko‘rsatadi [3, 9]. Askosp’oralar oddiy, ellipsoid, 10–15 × 6–8 µm o‘lchamda. Fotobiont sifatida Trebouxia avlodiga mansub yashil suvo‘tlar xizmat qiladi [5, 7].

Tur ilmiy adabiyotlarda quyidagi sinonimlar ostida ham qayd etilgan: Lichen ater Huds. (1762), *Lecanora atra* (Huds.) Ach. — eng keng tarqalgan sinonim, *Parmelia atra* (Huds.) Ach., shuningdek *Patellaria atra*, *Rinodina atra* va boshqalar [13].

Geografik tarqalishi va ekologik talablar

T. atra haqiqiy kosmopolit tur bo‘lib, quyidagi hududlarda qayd etilgan: Antarktida va Subantarktika orollari, O‘rta yer dengizi havzasi, Alp tog‘lari, Shimoliy va Janubiy Amerika (Chili, Argentina), Avstraliya, Yangi Zelandiya, shuningdek Turkiya viloyatlari — Eskisehir, Bursa, Sivas, Adana va Ankara [4, 10].

Turning asosiy substrati silisiy toshlar va devorlar bo‘lib, ba’zan ohaktoshda, po‘stloq va yog‘ochda ham uchraydi. Balandlik bo‘yicha tarqalish dengiz sathidan 3000 metr va undan yuqorigacha qayd etilgan. Tur ozuqaga boy tosh yuzalarini afzal ko‘radi va havo sifatining yaxshi ko‘rsatkichi (bioindikator) sifatida qaralmoqda [3, 9].

Kimyoviy tarkib

Millot va boshqalar (2008) tomonidan o‘tkazilgan birinchi maxsus fitokimyoviy tadqiqotda *T. atra* dan 6 ta ma’lum va 1 ta yangi birikma ajratib olingan [6]. Keyinchalik Alzebair va boshqalar (2023/2024) tadqiqotida kimyoviy profil kengaytirildi [1]. Jami 8 ta birikma aniqlangan:

ISSN 3030-3907

2-jadval.

T. atradan ajratib olingan birikmalar

№	Birikma nomi	Kimyoviy sinf	Asosiy xususiyat
1	*Atranorin*	Depside	Korteks — K+ sariq; keng farmakologik spektr
2	Metil β-orsinol karboksilat	Depside hosilasi	Atranorin metaboliti; korteksda
3	*Metil haematommat*	Depside hosilasi	Atranorin bilan birga; korteksda
4	*α-Alektoron kislota*	Depsidon	Medulla; kuchli antimikrobiyal; B. subtilis ga eng past MIC
5	*α-Kollatol kislota*	Depsidon	Superoksid IC_{50} = 463 μM; kvertsetindan kuchliroq
6	*β-Kollatol kislota*	Depsidon (gidroliz hosilasi)	IC_{50} = 122 μM — kvertsetindan 6 barobar kuchliroq
7	*Dezoksikollatol kislota*	Depsidon (YANGI, 2008)	Birinchi marta *T. atra* dan aniqlangan yangi modda; YMR bilan xarakt.
8	D-Arabitol	Poliol	Fotobiont (Trebouxia) bilan bog‘liq komponent

Ekstraksiya va ajratish usullari

Kimyoviy tarkibni ajratib olishda to‘rtta erituvchi qo‘llanilgan: neft efiri (lipofilik birikmalar, atranorin uchun), diklorometan (o‘rta polarlikdagi moddalar), aseton (keng spektrli) va metanol (gidrofil birikmalar, antioksidant testlari uchun). ajratishda Sephadex LH-20 va silika gel xromatografiyasi kombinatsiyasi, shuningdek TLC texnikasi ishlatilgan. Yangi dezoksikollatol kislota tuzilishi COSY, HMQC va HMBC YMR usullari kombinatsiyasi bilan to‘liq aniqlangan [6].

Kimyoviy spot-test reaksiyalari

T. atra uchun quyidagi kimyoviy reaksiyalar xarakterli: K+ sariq (atranorin ko‘rsatkichi), KC+ sariq, C– (reaksiya yo‘q), Pd– (reaksiya yo‘q), gimenium K+ binafsha (*Tephromela* avlodining diagnostik belgisi), medulla I– [3, 9].

Biologik faollik

Antioksidant faollik

Superoksid-anion radikal yo‘q qilish faolligi (O_2^- assay) bo‘yicha *T. atra* metabolitlari quyidagi natijalarni ko‘rsatgan [6]:

3-jadval.

ISSN 3030-3907

Superoksid-anion radikal yo‘q qilish faolligi — IC_{50} qiymatlari (Millot va boshq., 2008 [6]).

Birikma	IC_{50} (µM)	Quvsat (kvertsetin = 754 µM)
Kvertsetin (etalon)	**754**	*— (nazorat)*
α-Kollatol kislota (5)	**463**	*Kvertsetindan 1,6 barobar kuchliroq*
β-Kollatol kislota (6)	***122***	*Kvertsetindan 6,2 barobar kuchliroq*

Bundan tashqari, *T. atra* ning metanol ekstrakti DPPH• radikal yo‘q qilishda barcha sinab ko‘rilgan konsentratsiyalarda muhim darajada faollik ko‘rsatgan [1].

Antimikrobiyal Faollik

Alzebair va boshqalar (2023/2024) tomonidan o‘tkazilgan keng qamrovli tadqiqotda *T. atra* ning 4 xil ekstrakti (atsetonli, diklorometanli, neft efiri va metanollik) hamda ajratib olingan α-alektoron kislota va α-kollatol kislota disk-diffuziya va bulon mikrodilüsiya usullari yordamida 24 mikroorganizm (11 bakteriya, 9 zamburug‘, 4 achitqi) turi bilan sinab ko‘rilgan [1]:

- α-Alektoron kislota va α-kollatol kislota aksariyat sinab ko‘rilgan bakteriyalarga nisbatan sezilarli inhibitor ta’sir ko‘rsatdi
- *Bacillus subtilis* ga nisbatan eng past MIC qiymatlari ikkala kislota uchun ham qayd etildi
- *Staphylococcus aureus* ga nisbatan MIC: α-alektoron kislota uchun 500 µg/mL (Rajan va boshq., 2016 [boshqa tur]), ushbu tadqiqotda esa undan past qiymat olindi
- Zamburug‘ va achitqilarga qarshi faollik ham aniqlandi, ammo bakterial spektrga nisbatan farqli ko‘rinishda
- Atsetonli ekstrakt kuchli antifungal ta’sir ko‘rsatdi; xlorgamfenikol va katokonazol nazorat sifatida ishlatildi

Atranorinning farmakologik xususiyatlari

T. atra ning asosiy korteks metaboliti atranorin turli tadqiqotlarda quyidagi faolliklar ko‘rsatgan:

- Sitotoksik/antitumor: MCF-7 (ko‘krak sartoni) hujayralarida IC_{50} = 7,55 ± 1,2 µM va MDA-MB-231 da IC_{50} = 5,36 ± 0,85 µM (Harikrishnan va boshq., 2021)
- Glioblastoma: A-172, T98G va U-138 MG miya o‘sma hujayralarida ijobiy ta’sir (Majchrzak-Celinska va boshq., 2022)

ISSN 3030-3907

• O‘pka sartoni: A549 hujayralar ko‘chishi va invasiyasini 10 μg/mL dozada inhibirlash (Zhou va boshq., 2017)

• Qo‘shimcha faolliklar: analgetik, yallig‘lanishga qarshi, antidiyabetik, antiulcer, antiviral, antiparazitar, larvitsid

Molekulyar biologiya va filogenetika

Filogenetik tuzilish

Muggia va boshqalar (2014, Fungal Diversity) dunyoviy miqyosdagi namunalar asosida uchta yadro markeri (ITS, nuLSU rDNA, RPB1) yordamida filogenetik tahlil o‘tkazib, *T. atra* kompleksida 15 ta monofiletik kladni aniqladilar [4]. Bu kladlar geografik jihatdan Alp tog‘lari, O‘rta yer dengizi havzasi, Antarktida, Yangi Zelandiya, Tinch Okean Shimoli-G‘arbi, Chili va boshqa mintaqalarga mos keladi.

Turning yuqori fenotipik plastikligi va keng geografik tarqalishi bir tur sifatidagi ta’rifiga ko‘ra cheklangan bo‘lsa-da, filogenetik ma’lumotlar uning ichida bir nechta mustaqil evolyutsion liniyalar mavjudligini ko‘rsatadi. 2016-yilda ana shunday tahlil asosida yangi tur — *Tephromela pacifica* — tasvirlangan [11].

Fotobiont (Trebouxia) xilma-xilligi

Muggia va boshqalar (2010, 2014) tomonidan o‘tkazilgan tadqiqotlarda *T. atra* ning Trebouxia avlosiga mansub 12 ta genetik liniya bilan simbioz qurishga qodirligi aniqlangan [5, 7]. Asosiy natijalar:

• Alp liniyasi: Trebouxia simplex (‘T. jamesii’ kompleksi) — sovuq, kislotali sharoitlarga ixtisoslashgan

• O‘rta yer dengizi liniyasi: mustaqil evolyutsiyada Mediterran iqlimiga moslashgan Trebouxia turlari

• Antarktida/Yangi Zelandiya: Trebouxia vagua "A10" liniyasi — faqat *T. atra* bilan bog‘liq (Frontiers in Microbiology, 2022 [12])

• Fotobiont selektivligi turning ekologik tolerantligini va evolyutsion divergensiyasini belgilaydi

T. atra mikobiomasi

Cometto va boshqalar (2022, Fungal Biology) *T. atra* tallusida yashayotgan zamburug‘lar xilma-xilligini o‘rganib, 76 ta bazidiomitset achitqi shtammini ajratib oldilar [8]. Bu — *T. atra* mycobiomening ilk keng o‘rganilishi:

• Ascomycota: Chaetothyriales va Dothideomycetes — ustunlik qiluvchi sinflar

• Yangi turlar: Cladophialophora endolichena va Paracaldophialophora lichenicola — *T. atra* dan birinchi marta aniqlangan

• Kurtzmanomyces lichenum — yangi achitqi turi

ISSN 3030-3907

• 2025-yilda Stoppiello va boshqalar Antarktida lishayniklarida intratallus zamburug‘ va bakteriya xilma-xilligini yanada keng tahlil qildi [15]

MUHOKAMA.

Kimyoviy tarkibning ahamiyati

T. atra ning kimyoviy profili korteks va medulla o‘rtasida aniq farqlanadi: korteksda atranorin va uning hosilalari, medulyada esa depsidon birikmalar to‘planadi. Dezoksikollatol kislotaning (birikma 7) 2008-yilda kashf etilishi alohida ahamiyatga ega — bu *T. atra* dan ajratilgan ilk yangi tabiiy modda bo‘lib, biosintez yo‘li va biologik faolligi hali to‘liq ochilmagan [6].

β-Kollatol kislota (IC_{50} = 122 μM) ning superoksid yo‘q qilish faolligi kvertsetindan 6 barobar kuchliroq ekanligi alohida diqqatni tortadi. Kvertsetin klinik amaliyotda keng foydalaniladigan tabiiy antioksidant ekanligini hisobga olsak, ushbu natija β-kollatol kislotaning yangi antioksidant dori-vosita sifatidagi salohiyatini isbotlaydi [6].

Antimikrobiyal natijalarning baholanishi

Alzebair va boshqalar (2023/2024) tadqiqoti *T. atra* ning to‘liq biologik faollik profilini birinchi marta keng spektrda ochib bergan. Biroq ushbu ishning natijalarini o‘rganishda bir qancha cheklovlarni e’tiborga olish zarur: MIC qiymatlarining aniq miqdori adabiyotlarda to‘liq keltirirlmagan; sinab ko‘rilgan shtammlar tanlanishida standartlashtirilgan mezonlar haqida ma’lumot cheklangan; shuningdek, natijalar klinik ma’lumotlar bilan tasdiqlanmagan [1, 2].

Shunday bo‘lsa-da, α-alektoron kislotaning Bacillus subtilis va S. aureus ga nisbatan kuchli ta’siri bu turning antibiotik alternativ sifatida o‘rganilishini asoslantiradi. MRSA va ko‘p dorivorlikka chidamli (MDR) shtammlarga nisbatan ta’siri hali tekshirilmagan — bu kelajak tadqiqotlarning ustuvor yo‘nalishi hisoblanadi.

Filogenetik ma’lumotlarning ta’siri

T. atra da 15 ta monofiletik kladning aniqlanishi ushbu turning "bir tur" sifatidagi chegarasini qayta ko‘rib chiqishga undamoqda. Bu kladlar orasida kimyoviy tarkib farqlari ham kuzatilgan [11]. Tur doirasidagi kimyoviy xilma-xillikni to‘liq tushunish uchun geografik populyatsiyalar — ayniqsa hali o‘rganilmagan Markaziy Osiyo namunalarini qamrab olgan keng miqyosli metabolomik tahlil zarur.

O‘rganilganlik darajasining umumiy baholash

Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, *T. atra* ning taksonomik nomenklaturasi, morfologik tavsifi va filogenetik tuzilishi yaxshi o‘rganilgan. Kimyoviy tarkib ham ma’lum darajada aniqlangan (8 ta birikma), ammo geografik populyatsiyalar o‘rtasidagi kimyoviy farqlar hali etarli o‘rganilmagan.

ISSN 3030-3907

Eng kam tadqiq etilgan soha — klinik farmakologiya: hozirgacha in vitro ma’lumotlargina mavjud, in vivo va klinik sinovlar o‘tkazilmagan [1, 4].

Kelajak tadqiqot istiqbollari

Adabiyotlar tahlili shuni anglatadiki, dezoksikollatol, α- va β-kollatol kislotalar kabi tabiiy metabolitlar keng biologik faollikka ega bo‘lib, ularni chuqurroq o‘rganish yangi farmatsevtik vositalar yaratishda muhim ahamiyat kasb etadi. Xususan, ularning sitotoksik va antitumor xususiyatlari saraton hujayralariga selektiv ta’sir qilish va apoptoz jarayonlarini induksiya qilish imkoniyatlari bilan izohlanadi. Shu bilan birga, ushbu birikmalarning Methicillin-resistant Staphylococcus aureus kabi antibiotiklarga chidamli patogenlarga qarshi faolligi ularni yangi avlod antimikrob preparatlar sifatida ko‘rib chiqish imkonini beradi. Ayrim tadqiqotlar esa ularning antiviral potensialini, jumladan COVID-19 va gripp viruslariga qarshi ta’sirini o‘rganish zarurligini ko‘rsatmoqda. Shu nuqtai nazardan, nanoformulatsiya yondashuvlari (PLGA, liposoma va xitozan asosidagi tizimlar) orqali ushbu moddalar bioo‘zlashtirilishini oshirish va ularning farmakokinetik ko‘rsatkichlarini yaxshilash istiqbolli yo‘nalish sifatida baholanadi.

Kimyoviy ekologiya va biotexnologiya sohasidagi manbalar tahlili metabolomika yondashuvlari yordamida turli geografik populyatsiyalarda metabolitlar xilma-xilligini aniqlash va ularning ekologik omillar bilan bog‘liqligini o‘rganish muhimligini ta’kidlaydi. LC-MS/MS asosidagi tadqiqotlar orqali kimyoviy profillarni qiyosiy tahlil qilish, bioaktiv birikmalarni aniqlash va ularni kimyoviy marker sifatida qo‘llash imkoniyatlari mavjud. Shu bilan birga, depsidon biosintezida ishtirok etuvchi PKS genlarini aniqlash va ularni molekulyar-biologik usullar orqali tadqiq etish kelgusida gen injiniring asosida yuqori samarali metabolitlar ishlab chiqarishni yo‘lga qo‘yish imkonini beradi. Bioreaktor texnologiyalari orqali mikobiontni in vitro sharoitda o‘stirish esa β-kollatol kislota kabi qimmatli metabolitlarni barqaror va nazorat ostida olish uchun muhim platforma bo‘lib xizmat qilishi mumkin.

Ekologik va geografik yo‘nalishdagi adabiyotlar *Tephromela atra*ning tarqalishi va ekologik moslashuvchanligini o‘rganish hali yetarlicha yoritilmaganini ko‘rsatadi, ayniqsa Markaziy Osiyo hududlari uchun ma’lumotlar deyarli mavjud emas. Shu sababli, ushbu hududlarda turning tarqalishini aniqlash, ekologik nişasini baholash va iqlim o‘zgarishlariga javob reaksiyalarini monitoring qilish dolzarb ilmiy vazifa hisoblanadi. Bundan tashqari, likenlarning bioindikator sifatidagi xususiyatlari ularni atmosfera havosi sifati va og‘ir metall ifloslanishini baholashda samarali vosita sifatida qo‘llash imkonini beradi.

Genomika va proteomika yo‘nalishidagi tadqiqotlar esa liken simbiozining murakkab tabiatini chuqurroq tushunishga qaratilgan. Mycobiont va fotobiont

ISSN 3030-3907

genomlarini to‘liq sekvenslash, ularning o‘zaro molekulyar aloqalarini tahlil qilish hamda simbioz mexanizmlarini aniqlash ushbu tizimning funksional biologiyasini ochib berishda muhim ahamiyatga ega. Shu bilan birga, kriptik turlarni aniqlash va ularning har biriga xos kimyoviy profillarni tavsiflash likenlar xilma-xilligini yanada aniqroq tasniflash va ularni maqsadli ravishda farmakologik tadqiqotlarga yo‘naltirish imkonini beradi.

XULOSA.

Ushbu adabiyotlar sharhi *Tephromela atra* (Huds.) Hafellner lishayligining kimyoviy tarkibi, biologik faolligi va o‘rganilganlik darajasi bo‘yicha mavjud ma’lumotlarni birinchi marta o‘zbek tili va xalqaro standartda tizimlashtirdi. Asosiy xulosalar:

1. *T. atra* dan 8 ta ikkilamchi metabolit aniqlangan: 3 ta depside (atranorin va hosilalari) va 4 ta depsidon. 2008-yilda kashf etilgan dezoksikollatol kislota ushbu turga xos yangi tabiiy modda sifatida ilmiy ahamiyatga ega.

2. β-Kollatol kislota (IC_{50} = 122 μM) superoksid-anion yo‘q qilishda kvertsetindan 6,2 barobar kuchliroq ekanligi aniqlangan.

3. α-Alektoron kislota va α-kollatol kislota 11 bakteriya, 9 zamburug‘ va 4 achitqi turiga qarshi keng antimikrobiyal spektr ko‘rsatdi; B. subtilis ga nisbatan eng past MIC qayd etildi.

4. Filogenetik tahlil turing 15 ta monofiletik kladdan iborat ekanligini ko‘rsatdi; Trebouxia fotobiontining 12 ta liniyasi bilan simbioz qurishga qobiliyati turning keng ekologik amplitudasini tushuntiradi.

5. Klinik sinovlar, in vivo farmakologiya, MRSA ga ta’sir va Markaziy Osiyo (jumladan O‘zbekiston) populyatsiyalari kelajak tadqiqotlarning ustuvor yo‘nalishlari sifatida belgilandi.

T. atra — farmakologiya, biotexnologiya va ekologik monitoring uchun katta salohiyatga ega tur bo‘lib, ushbu sharh unga bag‘ishlangan kelajak tadqiqotlar uchun ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

ADABIYOTLAR

1. Alzebair A., Yilmaz Cankilic M., Avan İ., Candan M. (2023). Investigation of Antimicrobial and Antioxidant Activity of *Tephromela atra* Lichen and its Chemical Isolates, α-Alectoronic Acid and α-Collatolic Acid. bioRxiv. https://doi.org/10.1101/2023.11.05.565661

2. Alzebair A. va boshq. (2024). SSRN preprint — *Tephromela atra* antimicrobial and antioxidant. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id= 4732212

3. NZPCN (2024). *Tephromela atra*. New Zealand Plant Conservation Network. https://www.nzpcn.org.nz/flora/species/tephromela-atra/

ISSN 3030-3907

4. Muggia L., Grube M., Tretiach M. (2014). Global assessment of genetic variation and phenotypic plasticity in *Tephromela atra*. Fungal Diversity, 64, 233–250. https://doi.org/10.1007/s13225-013-0271-4
5. Muggia L., Zellnig G., Rabensteiner J., Grube M. (2010). Morphological and phylogenetic study of algal partners associated with *Tephromela atra*. Symbiosis, 51, 149–160. https://doi.org/10.1007/s13199-010-0060-8
6. Millot M. va boshq. (2008). Phytochemical investigation of *Tephromela atra*: NMR studies of collatolic acid derivatives. Phytochemistry Letters, 1(3), 139–143. https://doi.org/10.1016/j.phytol.2008.07.003
7. Muggia L., Pérez-Ortega S., Kopun T., Zellnig G., Grube M. (2014). Photobiont selectivity leads to ecological tolerance and evolutionary divergence in a polymorphic complex. Annals of Botany, 114(3), 463–475. https://doi.org/10.1093/aob/mcu124
8. Cometto A., Leavitt S.D., Millanes A.M. va boshq. (2022). The yeast lichenosphere: high diversity of basidiomycetes from *Tephromela atra* and Rhizoplaca melanophthalma. Fungal Biology, 126(9), 587–608. https://doi.org/10.1016/j.funbio.2022.07.009
9. Lichen Maritime Database (2024). *Tephromela atra* var. atra. http://www.lichensmaritimes.org/index.php?task=fiche&lichen=64&lang=en
10. Avan İ., Candan M. va boshq. (2024). Molecular Characterization of *Tephromela atra* and T. grumosa from Bozdag Mountain Based on ITS1 rDNA Sequences Analysis. bioRxiv. https://doi.org/10.1101/2024.01.04.574211
11. Cestaro L., Tønsberg T., Muggia L. (2016). Phylogenetic data and chemical traits characterize a new species in Tephromela. Herzogia, 29, 383–402.
12. Frontiers in Microbiology (2022). Photobiont Diversity in Lichen Symbioses From Extreme Environments. PMC9002315. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9002315/
13. GBIF Secretariat (2024). *Tephromela atra* (Huds.) Hafellner. GBIF Backbone Taxonomy. https://www.gbif.org/species/7247033
14. Muggia L., Grube M., Tretiach M. (2008). Genetic diversity and photobiont association in selected taxa of the *Tephromela atra* group. Mycological Progress, 7, 147–160.
15. Stoppiello G.A., De Carolis R., Coleine C. va boshq. (2025). Intrathalline Fungal and Bacterial Diversity in Antarctic Lichen Symbioses. Environmental Microbiology Reports. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC12052756/.

ISSN 3030-3907