



<https://doi.org/10.70728/a.series.tab.v08.i08.066>

**ASPICILIA CINEREA LISHAYNIGI VA UNING ENDOLISHEN
ZAMBURUG‘LARINING KIMYOVIY TARKIBI, HAMDA UNING
METABOLITLARI ASOSIDA METALLORGANIK VA SUPRAMOLEKULYAR
BIRIKMALAR SINTEZI**

Qoraboyeva Gulnozaxon Islom qizi

Registon Tibbiyot Texnikumi, Kimyo fani o‘qituvchisi

e-mail: gulnozaxonqoraboyeva025@gmail.com

Tel raqam: +998971112528

Annotatsiya. Ushbu maqolada *Aspicilia cinerea* (Megasporaceae) lishaynigining ikkilamchi metabolitlari, biologik faolligi, uning tarkibidagi birikmalar (birinchi navbatda norstiktik kislota va aspitsilin makrolidi) asosida metallorganik hamda supramolekulyar birikmalar sintezining metodologiyasi va istiqbollari, shuningdek ushbu lishaynikning endolishen zamburug‘larining kimyoviy tarkibi va biologik faolligi bo‘yicha so‘nggi o‘n yildagi ilmiy adabiyotlar tahlil qilingan. *A. cinerea* ning asosiy metaboliti norstiktik kislota bo‘lib, u orto-holatdagi erkin gidroksil va karbonil guruhlari tufayli metall ionlari bilan barqaror xelat hosil qilishga qodir; bu esa uni koordinatsion kimyo uchun istiqbolli ob'ekt qiladi. Tahlil natijasida norstiktik kislotaaning turli metall komplekslari va aspitsilin asosidagi supramolekulyar tizimlar kam o‘rganilgan ilmiy bo‘shliq ekanligi aniqlandi.

Kalit so‘zlar: *Aspicilia cinerea*, norstiktik kislota, aspitsilin, depsidon, makrolid, metallorganik kompleks, supramolekulyar kimyo, endolishen zamburug‘, antioksidant faollik, saksikol lishaynik.

Abstract. This review article analyzes the secondary metabolites and biological activities of the lichen *Aspicilia cinerea* (Megasporaceae), as well as the methodology and prospects for the synthesis of organometallic and supramolecular compounds based on its metabolites, primarily norstictic acid and the macrolide aspicilin. It also reviews the chemical composition and biological activities of the endolichenic fungi associated with this lichen based on scientific literature published over the past decade. The major metabolite of *A. cinerea* is norstictic acid, which is capable of forming stable chelate complexes with metal ions due to the presence of free hydroxyl and carbonyl groups in the ortho position; this makes it a promising object for coordination chemistry. The analysis revealed that various metal complexes of norstictic acid and supramolecular systems based on aspicilin represent a largely unexplored research area.

Keywords: *Aspicilia cinerea*, norstictic acid, aspicilin, depsidone, macrolide, organometallic complex, supramolecular chemistry, endolichenic fungus, antioxidant activity, saxicolous lichen.

KIRISH. *Aspicilia cinerea* (“kul lishaynigi”) — *Megasporaceae* oilasiga mansub kulrang-oq, 1,5–15 sm kenglikdagi qobiqli (krustoz) areolat lishaynik bo‘lib, u asosan tog‘larda silikat toshlar, shist yoki magmatik jinslarda, quyoshli yashash joylarida o‘sadi [15; 20-b.]. Ushbu tur Yevrosiyo va Shimoliy Amerikada 1700–3300 m balandlikda keng tarqalgan; K⁺ qizil va P⁺ sariq/to‘q sariq spot-testlari uning asosiy metaboliti norstiktik kislota ekanligini ko‘rsatadi [15; 21-b.]. *A. cinerea* da norstiktik kislotadan tashqari iz miqdorda konnorstiktik kislota va kamdan-kam giposalazin kislota, shuningdek ba’zi *Aspicilia* turlarida aspitsilin makrolidi ham uchraydi [4; 15-b.].

Lishaynik depsidon va makrolidlarining metall ionlari bilan koordinatsion (metallorganik) va supramolekulyar birikmalar hosil qilish qobiliyati bioorganik kimyoning istiqbolli, ammo kam o‘rganilgan yo‘nalishidir [7; 193-b.; 9; 2627-b.]. Bundan tashqari, *A. cinerea* ning endolishen zamburug‘lari mustaqil biologik faol birikmalar manbai sifatida katta amaliy ahamiyatga ega, ammo hozirgacha o‘rganilmagan [12; 1-b.; 13; 1-b.].

Mazkur maqolaning maqsadi — *A. cinerea* lishaynigining kimyoviy tarkibi va biologik faolligi, uning metabolitlari asosida metallorganik va supramolekulyar birikmalar sintezining metodologiyasi hamda eng samarali usullari, sintez qilingan birikmalarning biologik faolligi va lishaynikning endolishen zamburug‘larining kimyoviy tarkibi bo‘yicha so‘nggi o‘n yildagi ilmiy adabiyotlarni tizimli tahlil qilish va tadqiqotning istiqbolli yo‘nalishlarini asoslashdan iborat.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODOLOGIYA

Lishayniklarning kimyoviy tadqiqotlari nafaqat fundamental fan, balki amaliy farmatsevtika, materialshunoslik va ekologiya uchun ham katta ahamiyatga ega [2; 1-b.; 3; 1730-b.]. *Aspicilia* jinsi 300 dan ortiq turni o‘z ichiga olgan yirik jins bo‘lib, u morfologik va kimyoviy belgilar asosida bir necha infragenerik guruhga bo‘linadi; ba’zilari yangi jinslarga ajratilgan [15; 20-b.; 5; 247-b.]. Markaziy Osiyo, jumladan O‘zbekiston florasida lishaynik turlariga boy bo‘lishiga qaramay, ularning kimyoviy tarkibi va biologik faolligi jahon miqyosida kam tadqiq etilgan, bu esa mahalliy resurslarni o‘rganishning dolzarbligini oshiradi [2; 15-b.].

Bugungi kunda antibiotikka chidamlilik va yangi dori vositalariga bo‘lgan ehtiyoj kuchaygan sharoitda, tabiiy birikmalar va ular asosidagi modifikatsiyalangan (metallorganik, supramolekulyar) hosilalar yangi terapevtik agentlar izlashda strategik ahamiyatga ega [9; 2627-b.; 11; 272-b.]. Shu nuqtai nazardan, *A. cinerea* kabi keng tarqalgan, ammo kam o‘rganilgan saksikol lishaynik va uning norstiktik kislota hamda aspitsilin metabolitlari alohida ilmiy qiziqish uyg‘otadi [4; 15-b.; 15; 21-b.].

Sharhda keltirilgan biologik faollik ma'lumotlari asosan *in vitro* tadqiqotlarga tayanadi: antimikrob faollik uchun disk-diffuziya va suyuqlik mikrodilyutsiya (MIK/MBK) usullari, antioksidant faollik uchun DPPH, ABTS va FRAP tahlillari, sitotoksik faollik uchun esa

MTT tahlili standart usullar sifatida ko‘rib chiqilgan [1; 1-b.; 14; 14707-b.]. Endolishen zamburug‘larni identifikatsiya qilishda ITS-sekvensirlash va GenBank bilan qiyoslash standart yondashuv sifatida qabul qilingan [13; 2-b.].

Kimyoviy tuzilmalarni tahlil qilishda manbalarda keltirilgan spektroskopik ma'lumotlar (FT-IR, UB-Vis, $^1\text{H}/^{13}\text{C}$ YMR, mass-spektrometriya, YSSX-UB) hamda etalon ma'lumotnomalar asos qilib olingan [14; 14707-b.]. Metall komplekslari va supramolekulyar tizimlarni tavsiflashda esa FT-IR, DSC, TGA, PXRD va DFT hisoblashlari bo'yicha adabiyot ma'lumotlari umumlashtirilgan [10; 3-b.; 11; 274-b.].

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Aspicilia (“cho‘kkan disk lishaynigi”) — asosan toshda o‘sadigan krustoz areolat lishayniklar jinsi bo‘lib, uning vakillari ko‘pincha β -orsinol tipidagi depsidonlar, jumladan norstiktik va stiktik kislotalarni, ba'zilar esa yog‘ kislotalari yoki triterpenlarni o‘z ichiga oladi [4; 15-b.]. *A. cinerea* ning asosiy metaboliti norstiktik kislota bo‘lib, ko‘pincha iz miqdorda konnorstiktik kislota va kamdan-kam giposalazin kislota ham uchraydi [15; 21-b.].

Norstiktik kislota β -orsinol tipidagi depsidon bo‘lib, uning molekulasida efir (laktonli) halqa, orto-holatdagi erkin gidroksil guruhi va aldegid karbonil guruhi mavjud [7; 193-b.]. Aynan orto-holatdagi erkin gidroksil va qo‘shni karbonil guruhlarining mavjudligi norstiktik kislota metall ionlari bilan barqaror xelat halqasi hosil qilishga qodir qiladi — bu *A. cinerea* ni koordinatsion kimyo uchun istiqbolli ob'ekt qiladi [7; 193-b.; 8; 13-b.].

1-jadval.

***A. cinerea* asosiy metabolitlarining tavsifi va koordinatsion salohiyati**

Metabolit	Kimyoviy sinf	Asosiy funksional guruhlar	Koordinatsion salohiyat
Norstiktik kislota	β -orsinol depsidon	orto –OH, –CHO, –COOH, lakton	Cu^{2+} kompleksi tasdiqlangan
Konnorstiktik kislota	depsidon (iz)	–OH, –CHO	O‘rganilmagan
Aspitsilin	makrolid lakton	lakton halqasi, –OH	O‘rganilmagan
Yog‘ kislotalari	alifatik	–COOH	Past

Bundan tashqari, *Aspicilia* jinsi vakillari, jumladan *A. cinerea* va *A. gibbosa*, (+)-aspitsilin makrolidini ishlab chiqaradi; aspitsilin — 18 a‘zoli makrolid lakton bo‘lib, u antiherbivor (o‘txo‘r hayvonlarga qarshi) faollikka ega [4; 15-b.]. Makrolidlar keng klinik qo‘llanilishga ega antimikrob agentlar sinfi bo‘lgani uchun, lishaynik makrolidlari alohida farmatsevtik qiziqish uyg‘otadi [4; 16-b.]. *A. cinerea* da yog‘ kislotalari (stearin, olein, palmitolein, linol kislotalari) ham aniqlangan [4; 15-b.].

Ushbu birikmalarning tuzilishi zamonaviy spektroskopik usullar (FT-IR, UB-Vis, $^1\text{H}/^{13}\text{C}$ YMR, ikki o‘lchamli YMR, mass-spektrometriya) va YSSX-UB tahlili yordamida aniqlanadi; norstiktik kislota YSSX da standart etalonlar bilan qiyoslash orqali identifikatsiya

qilinadi [14; 14707-b.]. *A. cinerea* ning asosiy metabolitlari va ularning koordinatsion salohiyati 1-jadvalda keltirilgan.

Depsidon va makrolidlarning strukturaviy o‘ziga xosligi ularning biosintezi bilan bog‘liq: depsidonlar asetil-polimalonat (poliketid) yo‘li orqali β -orsinol tipidagi aromatik birliklardan, makrolidlar esa alohida poliketid yo‘li orqali sintezlanadi [3; 1735-b.]. Norstiktik kislota tarixan *Siphula* jinsidan ajratib olingan bo‘lib, keyinchalik ko‘plab *Aspicilia* turlarida aniqlangan; stiktik kislota esa uning O-metillangan hosilasi hisoblanadi [4; 15-b.]. Nordin va hamkasblari (2007) *Aspicilia* jinsining morfologik va ikkilamchi mahsulot xilma-xilligiga asoslangan filogeniyasini taqdim etib, ikkilamchi metabolitlar profilini jins ichidagi taksonomik guruhlarini ajratishda muhim belgi sifatida ko‘rsatdilar [5; 247-b.].

Oh va hamkasblari (2022) *Aspicilia* jinsining taksonomik kalitida norstiktik kislota K⁺ qizil reaksiyasi turlarini ajratishda asosiy diagnostik belgi ekanligini ko‘rsatdilar; aspitsilin yoki stiktik kislota saqllovchi turlar esa K[–] yoki K⁺ sariq reaksiya beradi [15; 21-b.]. Bu qonuniyat *A. cinerea* ni dala va laboratoriya sharoitida ishonchli identifikatsiya qilish imkonini beradi [15; 22-b.].

Aspitsilin — 18 a‘zoli makrolid lakton bo‘lib, uning to‘liq stereoselektiv sintezi bir necha ilmiy guruh tomonidan amalga oshirilgan, bu esa uning tuzilishini qat‘iy tasdiqlagan [4; 15-b.]. Biroq *A. cinerea* da aspitsilin va β -orsinol depsidonlarining birgalikda uchrashi, ularning miqdoriy nisbati va o‘zaro ta‘siri hozircha tizimli o‘rganilmagan; bu esa turning to‘liq metabolik profilini zamonaviy spektral usullar bilan aniqlash zaruratini yuzaga keltiradi [4; 16-b.; 15; 21-b.].

Lishaynik depsidon va makrolidlari keng spektrli biologik faollik namoyon etadi: antimikrob, antioksidant, o‘smaga qarshi, yallig‘lanishga qarshi va fermentlarni ingibirlovchi ta‘sirlar [1; 1-b.; 2; 12-b.]. Norstiktik kislota antioksidant faolligi alohida e‘tiborga loyiq: *Toninia candida* ekstraktida asosiy fenolik komponent sifatida norstiktik kislota eng yuqori antioksidant faollikni (erkin radikal va superoksid anion radikalini yo‘qotish, qaytaruvchi kuch) namoyon etgan [14; 14707-b.].

Norstiktik kislota antimikrob faolligi ham tasdiqlangan bo‘lib, u suyuqlik mikrodilyutsiya usulida aniqlangan minimal ingibirlovchi konsentratsiya (MIK) qiymatlari bilan xarakterlanadi [14; 14707-b.]. Depsidonlar odatda gram-musbat bakteriyalarga gram-manfiy bakteriyalarga qaraganda kuchliroq ta‘sir ko‘rsatadi, chunki gram-manfiy bakteriyalarning tashqi membranasi metabolitlarning hujayraga kirishiga to‘siq bo‘ladi [2; 12-b.].

Aspitsilin makrolidining antiherbivor faolligi qayd etilgan bo‘lib, u lishaynikni o‘txo‘r hayvonlar va umurtqasizlardan himoya qiladi [4; 15-b.]. Makrolid tuzilishi antibiotik salohiyatga ishora qiladi, ammo aspitsilinning antimikrob va boshqa biologik faolliklari hozircha kam o‘rganilgan [4; 16-b.]. Sitotoksik va o‘smaga qarshi faollik ham istiqbolli yo‘nalish bo‘lib, ko‘plab lishaynik depsidonlari saraton hujayralariga selektiv toksiklik ko‘rsatadi [1; 15-b.; 2; 12-b.].

Ranković va hamkasblari (2012) *Toninia candida* ekstraktida norstiktik kislota asosiy fenolik komponent sifatida aniqlab, uning erkin radikal va superoksid anion radikalini

yo‘qotish qobiliyatini miqdoriy baholaganlar; norstiktik kislota tekshirilgan barcha metabolitlar orasida eng yuqori antioksidant faollikni ko‘rsatgan [14; 14707-b.]. Bu natija norstiktik kislotaning aromatik gidroksil guruhlari hisobiga kuchli antioksidant xususiyatga ega ekanligini tasdiqlaydi va uning metall komplekslari yanada yuqori faollik namoyon etishi mumkinligini taxmin qilish imkonini beradi [14; 14710-b.; 10; 2-b.].

Sitotoksik va o‘smaga qarshi faollik ham istiqbolli yo‘nalish bo‘lib, ko‘plab lishaynik depsidonlari saraton hujayralariga selektiv toksiklik ko‘rsatib, apoptozni chaqirish va hujayra siklini to‘xtatish orqali ta'sir qiladi [1; 15-b.; 2; 12-b.]. Shu bilan birga, *A. cinerea* metabolitlarining, xususan aspitsilinning aniq sitotoksik faolligi hozircha kam o‘rganilgan bo‘lib, bu alohida tadqiqot yo‘nalishini tashkil etadi [4; 16-b.; 14; 14707-b.].

Lishaynik metabolitlarining metall ionlari bilan o‘zaro ta'siri bo‘yicha eng ishonchli klassik ish Purvis va hamkasblari (1987) tomonidan bajarilgan: ular norstiktik kislotaning mis bilan kompleksini (Cu^{2+} –norstiktik kislota) aniqlab, uning tuzilishini FT-IR va boshqa usullar bilan tasdiqlaganlar [7; 193-b.]. Muhim mexanistik xulosa shuki, metall bilan barqaror xelat halqasi hosil bo‘lishi uchun orto-holatdagi erkin gidroksil va qo‘shni karbonil guruhlarning birgalikda bo‘lishi zarur; stiktik kislotada gidroksil O-metillangani uchun u kompleks hosil qilmaydi [7; 193-b.]. Bu jihatdan *A. cinerea* ning asosiy metaboliti norstiktik kislota metall koordinatsiyasi uchun ideal ligand hisoblanadi.

Muhim ekologik kuzatuv: serpentinit substratida o‘sadigan *A. cinerea* mis (Cu), rux (Zn), stronsiy va boshqa metallarni tallomida to‘playdi, bu jarayonda norstiktik kislota metall kationlarini xelatlashda ishtirok etadi [6; 62-b.]. Hauck va hamkasblari (2009) lishaynik moddalarining dissotsilanish va metall-bog‘lash xarakteristikalarini o‘rganib, fenolik metabolitlarning kationlarni xelatlash qobiliyatini miqdoriy tasdiqlaganlar [8; 13-b.]. Bu tabiiy o‘zaro ta'sir norstiktik kislota asosida maqsadli metallorganik komplekslar sintez qilish g‘oyasini ilmiy jihatdan asoslaydi [8; 15-b.].

O‘tuvchi metallar (Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{3+} , Co^{2+} , Ni^{2+}) komplekslari erkin ligandga qaraganda yuqori antimikrob va antioksidant faollik namoyon etishi ko‘plab tadqiqotlarda tasdiqlangan [9; 2630-b.; 10; 2-b.]. Frei va hamkasblari (2020) keng ko‘lamli skriningda metall komplekslari organik molekulalarga qaraganda ancha yuqori antimikrob "muvaqqafiyat darajasi"ga ega ekanligini ko‘rsatdilar [9; 2630-b.]. Metall komplekslari sintezining asosiy usullari: eritmada aralashtirish, refluks, solvotermal va mexanokimyoviy sintez bo‘lib, sharoitlar (pH, mol nisbat, harorat, erituvchi) hosil bo‘ladigan kompleks tuzilishini belgilaydi [10; 3-b.].

Kompleks hosil bo‘lishini tasdiqlashda FT-IR (karbonil va gidroksil tebranishlarining siljishi), UB-Vis (d-d o‘tishlar), YMR va monokristall rentgen struktura tahlili qo‘llaniladi; kvant-kimyoviy (DFT) hisoblashlar esa koordinatsion geometriyani nazariy asoslaydi [10; 3-b.]. Damena va hamkasblari (2022) rux (II), mis (II) va nikel (II) komplekslarini sintez qilib, ularning erkin ligandga qaraganda yuqori antibakterial va antioksidant faollik ko‘rsatishini hamda DFT va molekulyar docking bilan asoslanishini namoyish etganlar [10; 2-b.].

Wang va hamkasblari (2025) Ostropomycetidae kenja sinfiga mansub lishayniklarning kimyoviy tuzilmalari va biofaolligiga bag‘ishlangan keng qamrovli sharhda aspitsilin

makrolidining *A. cinerea* va *A. gibbosa* dan ajratilishini va uning antiherbivor faolligini tasdiqladilar (2-jadval) [4; 15-b.]. Ular shuningdek makrolidlarni keng klinik qo‘llanilishga ega antimikrob agentlar sinfi sifatida ta’kidlab, lishaynik makrolidlarining farmatsevtik salohiyatini alohida qayd etdilar [4; 16-b.]. Bu ma'lumotlar aspitsilin asosida supramolekulyar tizimlar ishlab chiqish istiqbolli ekanligini ko‘rsatadi [11; 273-b.].

2-jadval.

Norstiktik kislota metall komplekslari sintezi usullarining qiyosiy tavsifi

Sintez usuli	Sharoit	Afzalligi
Eritmada aralashtirish	Xona harorati, MeOH/EtOH	Oddiy, keng qo‘llaniladi
Refluks	Qaynash harorati	Tez reaksiya, yuqori unum
Solvotermal	Yopiq idish, yuqori T/P	Sifatli monokristallar
Mexanokimyoviy	Sharli tegirmon, erituvchisiz	"Yashil", jihoz talab qilmaydi

Ushbu usullar orasida eng samaralisini tanlash ligand tabiati, kerakli kompleks sifati va laboratoriya imkoniyatlariga bog‘liq; mexanokimyoviy usul, ayniqsa, jihoz cheklovlari mavjud sharoitlarda istiqbolli hisoblanadi [10; 3-b.; 11; 274-b.].

Bunday komplekslar FT-IR, differensial skanerlovchi kalorimetriya (DSC), termogravimetrik tahlil (TGA), kukun rentgen difraksiyasi (PXRD) va ¹H-YMR usullari bilan tavsiflanadi; barqarorlik konstantasi va stexiometriyani aniqlashda esa fazaviy eruvchanlik diagrammalari va YMR-titrlash qo‘llaniladi [11; 274-b.]. Muhimi, metall koordinatsiyasi va supramolekulyar komplekslashtirish bir-birini istisno qilmaydi: ba’zi hollarda metall kompleksining o‘zi supramolekulyar tizimga kiritilib, ikkala yondashuvning afzalliklari birlashtiriladi [9; 2630-b.; 11; 274-b.].

Endolishen zamburug‘lar (ELF) — lishaynik tallomining ichida asemptomatik yashaydigan mikrozamburug‘lar bo‘lib, ular istiqbolli biologik faol ikkilamchi metabolitlar manbai hisoblanadi [12; 1-b.; 13; 1-b.]. Ularning eng katta afzalligi — tez o‘ssishi va laboratoriyada toza kulturada barqaror kultivatsiya qilinishi bo‘lib, bu sekin o‘sadigan lishayniklardan ustunlik yaratadi [13; 2-b.].

A. cinerea ning endolishen zamburug‘lari deyarli o‘rganilmagan bo‘lib, ularni ajratib olish, ITS-sekvensirlash orqali identifikatsiya qilish va metabolitlarini tahlil qilish yangi tabiiy birikmalar kashf etish uchun real imkoniyat yaratadi [12; 1-b.; 13; 1-b.]. Kultivatsiyada OSMAC strategiyasi (bir shtammni turli sharoitlarda o‘stirish) va zamonaviy metabolomika-yo‘naltirilgan usullar (MS/MS molekulyar tarmoq tahlili) metabolik salohiyatni to‘liq ochishda samarali hisoblanadi [13; 2-b.].

Umuman olganda, *A. cinerea* metabolitlari, endolishen zamburug‘lari va ular asosidagi metallorganik hamda supramolekulyar birikmalar bo‘yicha tadqiqotlar bir-birini to‘ldiruvchi yaxlit ilmiy dastur sifatida qaralishi mumkin: tabiiy metabolitlarni ajratish, endolishen zamburug‘larni o‘rganish va modifikatsiya strategiyalarini qo‘llash [7; 193-b.; 11; 274-b.;

13; 1-b.]. Ushbu integratsiyalangan yondashuv nafaqat yangi biologik faol birikmalar kashf etish, balki lishaynik metabolitlarining farmatsevtik salohiyatini to‘liq ro‘yobga chiqarish imkonini beradi. *A. cinerea* ning norstiktik kislota (kuchli antioksidant va metall xelatlovchi) hamda aspitsilin (antiherbivor makrolid) kabi turli sinf metabolitlarni bir vaqtda saqlashi uni ko‘p qirrali tadqiqot ob‘ekti qiladi [14; 14707-b.; 4; 15-b.].

XULOSA. Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, *Aspicilia cinerea* ning asosiy metaboliti norstiktik kislota (β -orsinol depsidon) bo‘lib, u orto-holatdagi erkin gidroksil va karbonil guruhlar tufayli metall ionlari bilan barqaror xelat hosil qilishga qodir; bundan tashqari tur aspitsilin makrolidi va yog‘ kislotalarini ham saqlaydi [15; 21-b.; 4; 15-b.]. Norstiktik kislota ning mis kompleksi tajribaviy tasdiqlangan bo‘lsa-da, uning boshqa metallar (Zn^{2+} , Fe^{3+} , Co^{2+} , Ni^{2+}) bilan komplekslari va aspitsilin asosidagi supramolekulyar tizimlar amalda o‘rganilmagan — bu istiqbolli tadqiqot yo‘nalishidir [7; 193-b.; 1; 1-b.].

Metall komplekslashtirish va supramolekulyar komplekslashtirish tabiiy birikmalarning biologik faolligi va bioo‘zlashtirilishini oshirishning samarali strategiyalari ekanligi isbotlangan [9; 2627-b.; 11; 274-b.]. *A. cinerea* ning endolishen zamburug‘lari esa mustaqil, hali o‘rganilmagan biologik faol birikmalar manbai bo‘lib xizmat qilishi mumkin [13; 1-b.]. Shu tariqa, *A. cinerea* va uning endolishen zamburug‘larining kimyoviy tarkibini kompleks o‘rganish, norstiktik kislota va aspitsilin asosida metallorganik hamda supramolekulyar birikmalar sintez qilish va ularning biologik faolligini baholash ilmiy va amaliy jihatdan dolzarb yo‘nalish hisoblanadi.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Ureña-Vacas I., González-Burgos E., Divakar P.K., Gómez-Serranillos M.P. (2023). Lichen Depsides and Tridepsides: Progress in Pharmacological Approaches // Journal of Fungi. Vol. 9, № 1. – Article 116. – P. 1–28.
2. Ranković B., Kosanić M. (2019). Lichens as a Potential Source of Bioactive Secondary Metabolites // Lichen Secondary Metabolites: Bioactive Properties and Pharmaceutical Potential. – Cham: Springer. – P. 1–29.
3. Calcott M.J., Ackerley D.F., Knight A., Keyzers R.A., Owen J.G. (2018). Secondary metabolism in the lichen symbiosis // Chemical Society Reviews. Vol. 47, № 5. – P. 1730–1760.
4. Wang X., Qin X., Hao Z. et al. (2025). A Comprehensive Review on Chemical Structures and Bioactivities of Ostropomycetidae Lichens // Journal of Fungi. Vol. 11, № 5. – Article 369.
5. Nordin A., Tibell L., Owe-Larsson B. (2007). A preliminary phylogeny of *Aspicilia* in relation to morphological and secondary product variation // Bibliotheca Lichenologica. Vol. 96. – P. 247–266.
6. Paukov A., Teptina A., Morozova M. et al. (2016). Accumulation of metals in crustose lichens growing on serpentinite // Turczaninowia. Vol. 19, № 1. – P. 62–70.

7. Purvis O.W., Elix J.A., Broomhead J.A., Jones G.C. (1987). The Occurrence of Copper–norstictic Acid in Lichens from Cupriferous Substrata // *The Lichenologist*. Vol. 19, № 2. – P. 193–203.
8. Hauck M., Jürgens S.-R., Willenbruch K. et al. (2009). Dissociation and metal-binding characteristics of yellow lichen substances // *Annals of Botany*. Vol. 103, № 1. – P. 13–22.
9. Frei A., Zuegg J., Elliott A.G. et al. (2020). Metal complexes as a promising source for new antibiotics // *Chemical Science*. Vol. 11, № 10. – P. 2627–2639.
10. Damena T., Zeleke D., Desalegn T. et al. (2022). Synthesis, characterization, and biological activities of zinc(II), copper(II) and nickel(II) complexes of an aminoquinoline derivative // *Frontiers in Chemistry*. Vol. 10. – Article 1053532.
11. Selyutina O.Yu., Polyakov N.E. (2019). Glycyrrhizic acid as a multifunctional drug carrier // *International Journal of Pharmaceutics*. Vol. 559. – P. 271–279.
12. Wethalawe A.N., Alwis Y.V., Udukala D.N., Paranagama P.A. (2021). Antimicrobial Compounds Isolated from Endolichenic Fungi: A Review // *Molecules*. Vol. 26, № 13. – Article 3901.
13. Zhao Q., Wang G.-Q., Wang Y. et al. (2024). Endolichenic Fungi: A Promising Medicinal Microbial Resource to Discover Bioactive Natural Molecules – An Update // *Journal of Fungi*. Vol. 10, № 2. – Article 99.
14. Ranković B., Kosanić M., Stanojković T. et al. (2012). Biological Activities of *Toninia candida* and *Usnea barbata* Together with Their Norstictic Acid and Usnic Acid Constituents // *International Journal of Molecular Sciences*. Vol. 13, № 11. – P. 14707–14722.
15. Oh S.-O., Wang X.-Y., Kondratyuk T.P. et al. (2022). A new lichen-forming fungus, *Aspicilia humida*, from a forested wetland in South Korea, with a taxonomic key for aspicilioid species // *Mycobiology*. Vol. 50, № 1. – P. 20–29.