Az *Aspergillus* koncentráció az égbe szökött KONGASSUK MEG A VÉSZHARANGOT?

Dr. Magyar Donát[1], Dr. Páldy Anna[1], Dr. Leelőssy Ádám[1,2]

[1]Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ, [2]ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, Budapest

Az *Aspergillus flavus* (AFL), *A. fumigatus* (AFU) és az *A. niger* (ANI) ismerősen csengő gombanevek a tüdőgyógyászok, fül-orr-gégészek és allergológusok köreiben. E fajok nagy mennyiségű spórát termelnek, amelyek kis méretűek, és a légáramlatokkal könnyen terjednek, ezáltal képesek bejutni az orr- és arcüregekbe, de akár az alveolusokig is. Az *Aspergillus*ok a légzőszervekben (AFU, AFL) illetve a külső fülben (ANI) elszaporodhatnak, ezek felületét kolonizálhatják, súlyosabb esetben fertőzéseket (mikózisokat) okozhatnak. Ez utóbbiak általában legyengült immunrendszer, illetve hajlamosító elváltozások esetén jelentenek valós kockázatot[1]. Egyes fajok gyakoriak a talajban, főként komposztokban (AFU), ritkábban előfordulhatnak nedves épületanyagon (AFL, ANI). Spóráik nagyon gyakoriak a háziporban (ANI), mert a zöldségek (elsősorban vöröshagyma) hámozásával tömegesen szóródnak szét a lakásokban, főként a zöldségtárolásra használt helyiségekben, konyhákban és az amerikai konyhás nappalikban. Jelentős károkról az AFL és az ANI esetében beszélhetünk, melyek megfertőzhetik a szántóföldi növényeket, később pedig elszaporodhatnak betakarított terményeken (főleg a kukoricán), ennek következtében az élelmiszert és takarmányt mikotoxinokkal szennyezve élelmiszerbiztonsági problémát okoznak. Ezen anyagok közül az aflatoxin külön megemlítendő, amelyet a természetben előforduló legerősebb hepatokarcinogén vegyületként tartanak számon[2]. Komoly károkozásuk ellenére a szakirodalomban nem állnak rendelkezésre hosszú távú megfigyelések e fajok légköri koncentrációjáról. Jelen tanulmányunk célja az AFL, AFU és ANI csoportok hosszú távú kültéri levegőmintáiban mért koncentrációjának elemzése Magyarországon.

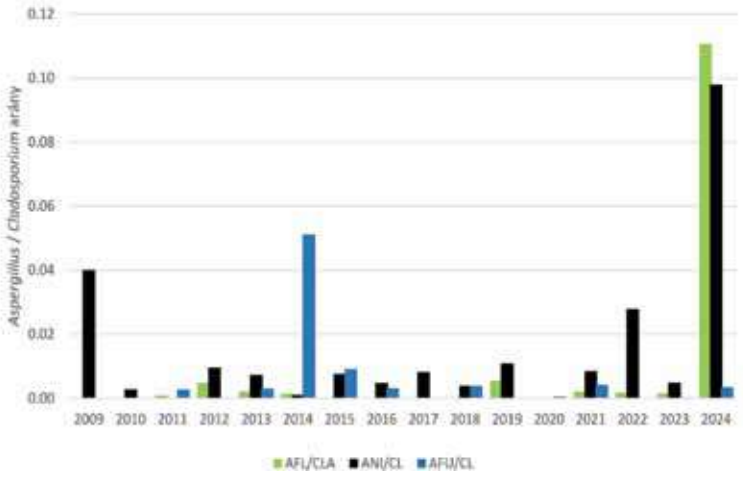
Az *Aspergillus*ok légköri koncentrációjának vizsgálatára Andersen-típusú készülékkel levegőmintákat (100 liter/minta) gyűjtöttünk kültéri levegőből, főként városi környezetből, véletlenszerű elrendezésben magyarországi helyszíneken 2009 és 2024 között. A mintákat 2%-os malátakivonat-agaron tenyésztettük, amelyhez klóramfenikolt adtunk. A lemezeket 25 °C-on öt napig inkubáltuk (1. ábra). A gombatelepeket morfológiai jegyek alapján azonosítottuk fénymikroszkóppal 400× nagyítással és *Flavi*, *Fumigati* és *Nigri* szekció szinten meghatároztuk. A telepképző egységeket (CFU) megszámoltuk, majd a koncentrációkat (CFU/m^3) a „pozitív lyuk korrekció" módszerével számoltuk ki. Előzetes elemzéseinkhez 238 levegőmintát használtunk fel, amelyek alapján meghatároztuk az éves összgombaszámot (TF), valamint az AFL, AFU, ANI, valamint a magyarországi levegőmintákban domináns *Cladosporium*-fajok (CL) előfordulását. Az *Aspergillus*-taxonok relatív gyakoriságát az összgombaszám százalékában fejeztük ki (AFL/TF%, AFU/TF% és ANI/TF%). Emellett az *Aspergillus*-taxonok relatív gyakoriságát a *Cladosporium*-szám arányában is kiszámoltuk (AFL/CL, AFU/CL és ANI/CL).

A vizsgált *Aspergillus*-taxonok relatív gyakorisága alacsony volt a 16 éves időszak átlagai alapján, mind az összgombaszámhoz, mind a *Cladosporium*-számhoz képest (AFL/TF = 0,10%; AFL/CL = 0,0013; AFU/TF = 0,33%; AFU/CL = 0,0052; ANI/TF = 0,52%; ANI/CL = 0,0091). 2024-ben kiugróan magas AFL és ANI koncentrációkat mértünk a városi levegőmintákban (AFL >3000; ANI >5000 CFU/m^3): az AF/CL arány 68-szorosára, az AN/CL pedig 20-szorosára nőtt. Az AFU esetében azonban nem tapasztaltunk jelentősebb növekedést. A 16 éves adatsor vizsgálatával az AFU/CL arány 2014-ben mutatott feltűnően kiugró értéket (az előző év 16-szorosát) (2. ábra).

A vizsgált *Aspergillus*ok telepnövekedését, spóratermelését és spórakibocsátását számos más gombához hasonlóan a meteorológiai tényezők nagy mértékben befolyásolhatják. E gombák viszonylag magas hőmérsékleten is jól növekednek; ennek köszönhetően képesek az emberi test hőmérsékletén is kórokozóként szaporodni. Az AFL aflatoxin B_1 termelése szintén magas hőmérsékleten, 35–37 °C-on tetőzik[3]. Míg az AFU hazai előfordulása mindig jól ismert volt a magasabb belső hőmérsékletű komposztokban, az AFL első kártételét csak 2013-ban jelezték először magyarországi kukoricán[4]. A trópusi eredetű import termékeken azonban folyamatosan, nagy mennyiségben érkeztek a spóráik[5]. Egy kísérletünkben a 2050-re előrejelzett hőhullámok hatását vizsgáltuk a behurcolt gombák növekedésére[6]. Összehasonlításképpen a hazai „őshonos" *Cladosporium*-fajokra gyakorolt hatást is megmértük. Míg a behurcolt AFL és ANI törzsek erőteljesen növekedtek az extrém hőhullámok ellenére, a *Cladosporium*ok nem voltak képesek szaporodni e körülmények között. A kísérletünk a gombafajok lecserélődését, az AFL és az ANI tömeges szaporodását jelezte előre. Mint azt láthattuk, a megjósolt jelenség már 2024-ben bekövetkezett, amint ezt az extrém légköri spórakoncentrációk és a mezőgazdasági krízis tanúsítja. Az AFL és ANI csoportba tartozó gombák koncentrációjának hirtelen emelkedése az országszerte gyűjtött kültéri levegőmintákban feltehetően a szélsőséges hőhullám hatásainak tudható be. Korábbi megfigyeléseink és a szakirodalmi adatok alapján a hőmérséklet-emelkedés és az aszály a gazdanövények legyengüléséhez vezet, illetve kedvezően hat e gombák szaporodására és toxintermelésére. Az AFL, az AFU és az ANI spórakoncentrációja jól látható módon, érzékenyen reagál az időjárási viszonyokra, erre utal legalábbis az, hogy bizonyos években drámai mértékű kiugrásokat figyeltünk meg.



1. ábra: Levegőmintából kitenyésztett gombák, melyek között kiugróan magas koncentrációban találhatóak *Aspergillus* sect. *Flavi* és *A.* sect. *Nigri* törzsek



2. ábra: Élő (fertőzőképes) *Aspergillus*-taxonok mennyiségi változása kültéri, többnyire városi környezetben gyűjtött levegőmintákban (N=238) 16 év adatainak előzetes elemzése alapján. Az adatokat a kültéri levegőben legnagyobb mennyiségben előforduló *Cladosporium* spp. arányában tüntettük fel. AFL: *Aspergillus* sect. *Flavi*, AFU: *Aspergillus* sect. *Fumigati*, ANI: *Aspergillus* sect. *Nigri*, TF: össz gombaszám, CL: *Cladosporium*.

A szakirodalom figyelmeztet arra, hogy az éghajlatváltozás miatt az AFL és az ANI élőhelyi alkalmassága drámaian növekszik Európában, ami súlyos egészségügyi és mezőgazdasági problémákhoz vezethet[7,8]. A szakirodalom, főként az AFU esetében, túlnyomórészt a mezőgazdasági következményekre fókuszál. Ezzel szemben adataink többsége nem mezőgazdasági, hanem városi környezetből származik, ahol e fajok magas koncentrációja ezidáig nem volt nyilvánvaló. A mezőgazdasági szektor vészharangot kongat, felkészülést sürget a mikotoxintermelő gombák várható tömeges elterjedésére. A lehetséges megoldások között szerepel például ellenálló növényfajták nemesítése, aszálykezelési stratégiák bevezetése, az élelmiszerbiztonsági ellenőrzések megerősítése. Kutatást igényel az a kérdés, hogy védőerdősávok telepítésével számottevően csökkenthető-e a környező mezőgazdasági területekről a városokba beáramló spórák tömege. Közegészségügyi szempontból kézenfekvő, hogy humán biomonitoring vizsgálatokkal tárjuk fel a lakossági mikotoxin expozíció mértékét. Az allergológusok és a tüdőgyógyászok részéről

pedig elsősorban arra volna szükség, hogy a jelentkező betegeknél a gomba eredetű tüneteket felismerjék, és megfelelő módszerekkel rendelkezzenek annak eldöntésére, hogy kolonizációról, vagy esetleg komolyabb fertőzésről van-e szó[1]. A magas légköri spórakoncentráció, a tartós kitettség és az egyéni érzékenység egyéb megbetegedésekhez is vezethet, amelyek igen sokfélék lehetnek[9]. Reményeink szerint a gombás eredetű légúti megbetegedések diagnosztizálásához az alább található összefoglaló táblázat hasznos segítséget nyújt. ■

IRODALOM

1. Jaggi TK, Agarwal R, Tiew PY, et al. Fungal lung disease. *Eur Respir J* 2024; 64(5): 2400803. [A cikk referátuma: Balikó Z. A tüdő gombás betegségei. *Amega* 2025; 32(1): 26-30.]

2. Hedayati MT, Pasqualotto AC, Warn PA, et al. Aspergillus flavus: human pathogen, allergen and mycotoxin producer. *Microbiology* 2007; 153(6): 1677-1692.

3. Baazeem A, Rodriguez A, Medina A, et al. Impacts of climate change interacting abiotic factors on growth, aflD and aflR gene expression and aflatoxin B1 production by Aspergillus flavus strains in vitro and on pistachio nuts. *Toxins* 2021; 13(6): 385.

4. Dobolyi C, Sebők F, Varga J, et al. Occurrence of aflatoxin producing Aspergillus flavus isolates in maize kernel in Hungary. *Acta Alimentaria* 2013; 42(3): 451-459.

5. Magyar D, Tischner Z, Páldy A, et al. Impact of global megatrends on the spread of microscopic fungi in the Pannonian Biogeographical Region. *Fungal Biology Reviews* 2021; 37: 71-88. https://doi.org/10.1016/j.fbr.2021.03.006

6. Tischner Zs, Páldy A, Kocsubé S, et al. Survival and growth of microscopic fungi derived from tropical regions under future heat waves in the Pannonian Biogeographical Region. *Fungal Biology* 2022; 126(8): 511-520. https://doi.org/10.1016/j.funbio.2022.04.005

7. Alkhalifah DHM, Damra E, Khalaf SMH, et al. Biogeography of black mold Aspergillus niger: Global situation and future perspective under several climate change scenarios using MaxEnt modeling. *Diversity* 2022; 14(10): 845

8. van Rhijn N, Uzzell C, Shelton J. Climate change-driven geographical shifts in Aspergillus species habitat and the implications for plant and human health. Preprint, April 2025, DOI: 10.21203/rs.3.rs-6545782/v1

9. Magyar D. Gombák az allergológia holtterében. *Orvostovábbképző Szemle* 2024; 31(9-10): 58-70.

Az allergológiai és tüdőgyógyászati gyakolatban megjelenő gomba eredetű megbetegedések

(összeállította: dr. Balogh Katalin, dr. Herke Paula, dr. Magyar Donát)

	Betegség	Fő tünetek	Kiváltó légköri allergének, gombafajok
Allergiás mechanizmusok légköri allergének és gomba terhelés kapcsán	I-es típusú allergia	Orrfolyás, tüsszögés, könnyezés, bőrkiütések, viszketés, súlyos esetben anafilaxia	Pollen, poratka, penészgombák
	III-as típusú allergia	Gyulladásos reakciók (pl. ízületi fájdalom, láz), immunkomplexek lerakódása által kiváltott tünetek	Penészgombák, baktériumok állati eredetű fehérjék
Aspergillus okozta kórképek	ABPA (Allergiás bronchopulmonális aspergillosis)	Köhögés (véres köpet), sípolás, légszomj, láz, fáradtság, asztmás tünetek	*Aspergillus fumigatus*
	Aspergilloma	Tartós köhögés, véres köpet, mellkasi fájdalom, légszomj (gyakran tüdőkárosodott betegekben); súlyvesztés	*Aspergillus fumigatus* egyéb *Aspergillus* fajok
	Asztma	Légszomj, sípoló légzés, köhögés, mellkasi szorító érzés, tünetek fizikai aktivitás után	Pollen, állati szőr, poratka, penészgombák (*Alternaria*, *Cladosporium*)
	Atópiás dermatitis	Viszkető, száraz bőr, gyulladás, hámlás, súlyos esetben hólyagos elváltozások	Poratka, pollen, penészgombák (*Aspergillus*, *Cladosporium*)
	Bronchitis	Köhögés (gyakran hurutos), mellkasi diszkomfort, légszomj, fáradtság, láz (akut esetben)	Légúti vírusok, légszennyezés, dohányfüst, egyes penészgombák (*Aspergillus*)
	Chronic inflammatory response syndrome (CIRS)	Fáradtság, fejfájás, izomfájdalom, kognitív zavarok, légszomj, gyakori fertőzések (progresszív, több szervet érintő megbetegedés)	Penészgombák által termelt toxinok
	Krónikus obstruktív légúti betegség (COPD)	Tartós köhögés, nehézlégzés, fokozódó fáradtság, mellkasi szorítás, gyakori fertőzések; romló légzésfunkciós értékek (obstruktív)	Dohányfüst, légszennyezés, biomassza égetés, *Aspergillus*, *Penicillium*

	Betegség	Fő tünetek	Kiváltó légköri allergének, gombafajok
Hiperszenzitív pneumonitis (összefoglaló név)	Extrinsic allergiás alveolitis	Száraz köhögés, légszomj, láz, hidegrázás, izomfájdalom, fáradtság, mellkasi fájdalom	Penészgombák (termofil actinomycetes, *Aspergillus*), baktériumok, madárfehérjék, növényi proteinek, alacsony molekulasúlyú vegyi anyagok, fémek, III-as és IV-es típusú immunválasz kombinációja
	Hiperszenzitív pneumonitis (általános)	Légszomj, száraz köhögés, láz, hidegrázás, fáradtság, mellkasi diszkomfort	Penészgombák (*Aspergillus*, *Cladosporium*, *Penicillium*, *Trichosporon cutaneum*, stb.), baktériumok, poratka
	Szaunatüdő	Száraz köhögés, légszomj, láz, fáradtság, izomfájdalom, mellkasi fájdalom (szauna, pezsgőfürdő, úszómedence, gyógyfürdő, zuhanyzó és párásító használatakor kialakuló tünetek)	Penészgombák, baktériumok, termofil actinomycetes
	Favágótüdő	Száraz köhögés, légszomj, mellkasi szorítás, láz, hidegrázás (élő fák, pl. juhar, tölgy kivágása után 4-12 órával jelentkező tünetek)	Faanyagból származó gombaelemek, *Penicillium* spp., *Paecilomyces* spp., *Aspergillus niger*, *Aspergillus* spp., *Rhizopus* spp.
	Egyéb hiperszenzitív pneumonitis: farmertüdő (mezőgazdasági munkásoknál); madár- vagy galambtenyésztő tüdő; sajtmunkás tüdő; bagassosis; gombatermesztő tüdő; malátamunkás tüdő		Penészgombák
	Krupp	Ugató köhögés, rekedtség, légzési nehézség, zajos belégzés (stridor), gyakran éjszaka rosszabbodik	Általában vírusok (pl. parainfluenza) nem légköri allergének
	Lycoperdonosis	Köhögés, hányinger, szapora pulzus, légszomj, láz, fáradtság, mellkasi fájdalom	*Lycoperdon* spórák
	Mucous Membrane Irritation (MMI)	A felső légutak érintettsége: orrfolyás, szemirritáció, torokkaparás, köhögés, bőrirritáció	Illékony szerves vegyületek, por, gombák (tulajdonképpen a beteg épület tünetegyütteshez tartozik)
	Orrnyálkahártya gombás fertőzése	Krónikus orrfolyás, orrdugulás, sinus fájdalom, gyakori fertőzések	Penészgombák
	Penészes fal hiperszenzitivitás	Orrfolyás, szemirritáció, köhögés, légszomj, mellkasi szorítás, fejfájás	Penészgombák (*Stachybotrys*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, stb.)
	Beteg épület tünetegyüttes (Sick Building Syndrome, SBS)	Fáradtság, fejfájás, szemirritáció, torokkaparás, bőrirritáció, száraz köhögés, orrvérzés, tüdővérzés, koncentrációs zavar	Illékony szerves vegyületek por, penészgombák (*Stachybotrys*, *Aspergillus*)
	Organic Dust Toxic Syndrome (ODTS); Grain fever; pulmonális mikotoxikózis; silo unloader's syndrome; malomláz; inhalation fever; toxikus pneumonitis; toxikus alveolitis	Láz, hidegrázás, izomfájdalom, száraz köhögés, légszomj fejfájás, fáradtság (toxinok okozzák és nem allergiás reakció, mint a hiperszenzitív pneumonitis)	Szerves por, baktériumok, penészgombák (*Aspergillus*, termofil Actinomycetes)
	Tüdőfibrózis	Légszomj (főként erőkifejtéskor), száraz köhögés, fáradtság, fogyás, mellkasi fájdalom; a tüdő felett típusos hallgatózási lelet (a hiperszenzitív pneumonitisek „késői" következménye lehet)	Környezeti szennyezők, egyes gombafajok (*Aspergillus*, *Alternaria*)

Megjegyzések

- Átfedések: Több légzőszervi betegség hasonló tüneteket produkál (pl. köhögés, légszomj), ezért diagnosztizálásukhoz alapos orvosi vizsgálatra van szükség.
- Allergiás betegségek: Az I-es és III-as típusú allergiák immunreakciókon alapulnak, de eltérő mechanizmusokkal és tünetekkel járnak.
- Fertőzés és gyulladás: Bronchitis, krupp és ABPA esetén gyakran fertőzés váltja ki vagy súlyosbítja a tüneteket.
- Sick building szindróma: Bár nem klasszikus tüdőbetegség, jelentős részben penészgombák és szennyező anyagok válthatják ki.
- ABPA: Rosszul kontrollált asztma, a mellkasröntgenen homályok, pozitív bőrteszt *Aspergillus* antigénre, *A. fumigatus* specifikus IgG és IgE emelkedett, centrális bronchiectasia, eosinophilia