

Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-15-0210**

Distribučný potenciál rôznych trofických skupín húb v Európe

Zodpovedný riešiteľ **Mgr. Slavomír Adamčík, PhD.**

Príjemca **Centrum biológie rastlín a biodiverzity SAV - Botanický ústav SAV**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Centrum biológie rastlín a biodiverzity SAV

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Tennessee University, Knoxville, Tennessee, USA
Mikrobiologický ústav AVČR, Praha, Česká Republika
University of the Punjab, Pakistan
University of Rosario, Bogotá, Columbia
Seoul National University, Seoul, South Korea
Museum Histoire Naturelle Paris, Francúzsko

Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

nie sú

Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

ADAMČÍK, Slavomír - LOONEY, Brian P. - CABOŇ, Miroslav - JANČOVIČOVÁ, Soňa - ADAMČÍKOVÁ, Katarína - AVIS, Peter G. - BARAJAS, Magdalena - BHATT, Rajendra P. - CORRALES, Adriana - DAS, Kanad - HAMPE, Felix - GHOSH, Aniket - GATES, Genevieve - KÄLVIÄINEN, Ville - KHALID, Abdul N. - KIRAN, Munazza - DE LANGE, Ruben - HYUN, Lee - LIM, Young Woon - KONG, Alexandro - MANZ, Cathrin - OVREBO, Clark - SABA, Malka - TAIPALE, Tero - VERBEKEN, Annemieke - WISITRASSAMEEWONG, Komsit - BUYCK, Bart. The quest for a globally comprehensible *Russula* language. In Fungal Diversity Journal, 2019, vol. 99, no. 1, p. 369-449. (2018: 15.596 – IF)

ADAMČÍK, Slavomír - JANČOVIČOVÁ, Soňa - BUYCK, Bart. The *Russulas* described by Charles Horton Peck. In Cryptogamie, Mycologie, 2018, vol. 39, no. 1, p. 3-108. (2017: 2.000 – IF)

ADAMČÍK, Slavomír - CABOŇ, Miroslav - EBERHARDT, Ursula - SABA, Malka - HAMPE, Felix - SLOVÁK, Marek - KLEINE, Jesko - MARXMÜLLER, Helga - JANČOVIČOVÁ, Soňa - PFISTER, Donald H. - KHALID, Abdul N. - KOLAŘÍK, Miroslav - MARHOLD, Karol - VERBEKEN, Annemieke. A molecular analysis reveals hidden species diversity within the current concept of *Russula maculata* (Russulaceae, Basidiomycota). In Phytotaxa, 2016, vol. 270, no. 2, p. 71-88. (2015: 1.087 – IF)

BUYCK, Bart - WANG, X. H. - ADAMČÍKOVÁ, Katarína - CABOŇ, Miroslav -

JANČOVIČOVÁ, Soňa - HOFSTETTER, Valerie - ADAMČÍK, Slavomír. One step closer to unravelling the origin of *Russula*: subgenus *Glutinosae* subg. nov. In *Mycosphere*, 2020, vol. 11, no. 1, p. 285-304. (2019: 2.092 – IF)

CABOŇ, Miroslav - LI, Guo-Jie - SABA, Malka - KOLAŘÍK, Miroslav - JANČOVIČOVÁ, Soňa - KHALID, Abdul N. - MOREAU, Pierre-Arthur - WEN, Hua-An - PFISTER, Donald H. - ADAMČÍK, Slavomír. Phylogenetic study documents different speciation mechanisms within the *Russula* globispora lineage in boreal and arctic environments of the Northern Hemisphere. In *IMA Fungus*, 2019, vol. 10, art. no. 5. (2018: 4.333 – IF)

CABOŇ, Miroslav - JANČOVIČOVÁ, Soňa - TRENDL, Jean M. - MOREAU, Pierre-Arthur - HAMPE, Felix - KOLAŘÍK, Miroslav - VERBEKEN, Annemieke - ADAMČÍK, Slavomír. Blum versus Romagnesi: testing possible synonymies of some European russulas (*Russulaceae*, *Basidiomycota*). In *Plant Systematics and Evolution*, 2018, vol. 304, no. 6, p. 747-756. (2017: 1.452 – IF)

CABOŇ, Miroslav - EBERHARDT, Ursula - LOONEY, Brian P. - HAMPE, Felix - KOLAŘÍK, Miroslav - JANČOVIČOVÁ, Soňa - VERBEKEN, Annemieke - ADAMČÍK, Slavomír. New insights in *Russula* subsect. *Rubrinae*: phylogeny and the quest for synapomorphic characters. In *Mycological Progress*, 2017, vol. 16, no. 9, p. 877-892. (2016: 1.616 – IF)

CROUS, P.W. - WINGFIELD, M.J. - LOMBARD, L. - - ADAMČÍK, Slavomír - - GROENEWALD, J.Z. Fungal Planet description sheets: 951–1041. In *Persoonia*, 2019, vol. 43, p. 223-425. (2018: 6.860 – IF)

CROUS, P.W. - WINGFIELD, M.J. - BURGESS, T.I. - HARDY, G.E.St.J. - GENE, J. - GUARRO, Joan - BASEIA, I.G. - GARCIA, D. - GUSMAO, L.F.P. - SOUZA-MOTTA, C.M. - THANGAVEL, R. - ADAMČÍK, Slavomír - ... - GROENEWALD, J.Z. Fungal Planet description sheets: 716-784. In *Persoonia*, 2018, vol. 40, p. 240-393. (2017: 8.182 – IF)

DESPREZ-LOUSTAU, Marie-Laure - MASSOT, Marie - TOÏGO, Maude - FORT, Tania - ADAY KAYA, Ayse Gülden - BOBERG, Johanna - BRAUN, Uwe - CAPDEVIELLE, Xavier - CECH, T. - CHANDELLIER, Anne - CHRISTOVA, Petya - CORCOBADO, Tamara - DOGMUS, Tugba - DUTECH, Cyril - FABREGUETTES, Olivier - FAIVRE D'ARCIER, Julie - GROSS, Andrin - HORTA JUNG, Marilia - ITURRITXA, Eugenia - JUNG, Thomas - JUNKER, Corina - KISS, Levente - KOSTOV, Kaloyan - LEHTIJARVI, Asko - LYUBENOVA, Aneta - MARÇAIS, Benoit - OLIVA, Jonas - OSKAY, F. - PASTIRČÁK, Martin - PASTIRČÁKOVÁ, KatarínaTACK, Ayco J. M. From leaf to continent : The multi-scale distribution of an invasive cryptic pathogen complex on oak. In *Fungal Ecology*, 2018, vol. 36, p. 39-50. (3.736 - IF2017). ISSN: 1754-5048.

FAČKOVCOVÁ, Zuzana – SENKO, Dušan – SVITOK, Marek – GUTTOVÁ, Anna. Ecological niche conservatism shapes the distributions of lichens: geographical segregation does not reflect ecological differentiation. In *Preslia*, 2017, vol. 89, s. 63–85. <http://www.preslia.cz/doi/preslia.2017.063.html>

FAČKOVCOVÁ, Zuzana - SLOVÁK, Marek - VĎAČNÝ, P. - MELICHÁRKOVÁ, Andrea - ZOZOMOVÁ-LIHOVÁ, Judita - GUTTOVÁ, Anna. Spatio-temporal formation of the genetic diversity in the Mediterranean dwelling lichen during the Neogene and Quaternary epochs. In *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2020, vol. 144, art. no. 106704. (2019: 3.496 - IF, Q2 - JCR, 1.645 - SJR, Q1 - SJR). ISSN 1055-7903. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1055790319301472> 1 citácia WOS

GUTTOVÁ, Anna - FAČKOVCOVÁ, Zuzana - MARTELLO, Stefano - PAOLI, Luca - MUNZI, Silvana - PITTAO, E. - ONGARO, Silvia. Ecological specialization of lichen congeners with a strong link to Mediterranean-type climate: a case study of the genus *Solenopsis* in the Apennine Peninsula. In *Lichenologist*, 2019, vol. 51, no. 1, p. 75-88. (1.510 - IF2018).

LOONEY, Brian P. - ADAMČÍK, Slavomír - MATHENY, P. Brandon. Coalescent-based delimitation and species-tree estimations reveal Appalachian origin and Neogene diversification in *Russula* subsection *Roseinae*. In *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2020, vol. 147, art. no. 106787. (2019: 3.496 – IF)

WISITRASSAMEEWONG, Komsit - PARK, Myung Soon - LEE, Hyun - GHOSH, Aniket - DAS, Kanad - BUYCK Bart - LOONEY, Brian P. - CABOŇ, Miroslav - ADAMČÍK, Slavomír - KIM Changmu - KIM Chang Sun - LIM Young Woon. Taxonomic revision of *Russula* subsection *Amoeninae* from South Korea. In *MycKeys*, 2020, vol. 75, p. 1-29. (2019: 2.525 – IF) <https://mycokeys.pensoft.net/article/53673/>

Uplatnenie výsledkov projektu

Hlavnými výsledkami projektu sú články vysvetľujúce evolučné a ekologické adaptácie študovaných druhov. Najdôležitejšie publikácie vysvetľujúce túto problematiku u lišajníkov sú Fačkovcová et al. (2017, 2020) a Guttová et al. (2019), pre múčnatky je to Desprez-Loustau et al. (2018) a pre rod ektomykorízne huby Caboň et al. (2019) a Looney et al. (2020). Tieto publikácie upozorňujú širokú vedeckú komunitu na údaje potrebné k pochopeniu evolúcie druhov a ich adaptácii na ekologické podmienky u rôznych trofických skupín húb. Význam výsledkov podčiarkujú i prvé citácie na vyššie uvedené práce venované problematike lišajníkov z roku 2019 a 2020, ktoré v diskusii využili kolegovia z ďalších medzinárodných vedeckých tímov študujúcich limity klimatických ník obligátnych symbiotických systémov. Poznatky o ekologických nárokoch lišajníkov ponúkajú možnosť aplikovať druhy citlivé na priemernú hodnotu denného teplotného intervalu ako dobré indikátory klimatickej stability, ktorú zmeny v maximálnych a minimálnych denných teplotách vplyvom klimatickej zmeny veľmi ovplyvňuje. Znalosti o výskyte a ekologickom potenciáli múčnatiek môžu slúžiť aj na prevenciu invázie nových patogénov medzi kontinentmi alebo geograficky izolovanými oblasťami.

V rámci projektu boli definované morfológické a fylogenetické štandardy pre opisy nových druhov ektomykoríznych húb rodu *Russula* a tieto štandardy boli publikované v časopise *Fungal diversity* (Adamčík et al. 2019, IF 2018 = 15.596). Vzhľadom na nízku mieru poznania diverzity tohto rodu s pravdepodobne viac ako 2000 druhmi celosvetovo, tieto štandardy budú nepochybne používané v rôznych krajinách sveta. V reakcii na túto publikáciu absolvovalo alebo požiadalo o študijný pobyt na v riešiteľskej organizácii (CBRB SAV) 10 študentov a mladých vedcov z rôznych Krajín Európy, Ázie, Severnej a Južnej Ameriky.

V rámci projektu sme narazili u ektomykoríznych húb aj u múčnatiek na nedostatočnú historickú a nomenklatorickú znalosť druhov húb a často neznáme či nesprávne pochopenie ich ohraničenia. Preto sme v rámci projektu uverejnili sériu taxonomických, fylogentických a systematických článkov, ktoré obsahujú viac než 50 typových štúdií a množstvo novo opísaných druhov a dokonca novo rozlíšený podrod, ktorý je pravdepodobne evolučne najstaršou skupinou v rode *Russula*. Množstvo sekvencií DNA použitých v článkoch o všetkých troch trofických skupinách sú široko využiteľné v pri barkódovom určovaní druhov z environmentálnej DNA pri rôznych ekologických štúdiách.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)

Naša pôvodná hypotéza, že výskyt húb nepodlieha iba lokálnym ekologickým podmienkam, ale aj bioklimatickým a geografickým vplyvom sa potvrdila. Najsilnejšiu väzbu areálu rozšírenia na bioklimatické podmienky majú lichenizované huby, konkrétne ich hubová zložka (mykobiont). Podrobná štúdia mykobionta druhu *Solenopsis candicans*, ktorého areál zahŕňa v prvom rade Mediterán a zasahuje do Atlantiku a do Panónie a karpatskej oblasti, potvrdzuje väzby na bioklimatické a geografické oblasti. Zistili sme výskyt viacerých diverzitných centier a refúgií naprieč celým Mediteránom. Odhadované divergenčné časy poukázali na treťohorný pôvod mykobionta, s tvorbou intrašpecifickej diverzity, ktorá začala v neskorom miocéne. Rozšírenie najdivergentnejších haplotypov, najmä pre-pleistocénneho pôvodu, je obmedzené na východný alebo západný okraj mediteránu, vykazujúc tak Kiermakovskú disjunkciu. Zatiaľ čo sa oblasti južného Mediteránu nachádzajú diverzita ako treťohorného, tak i štvrtohorného pôvodu, zodpovedajúca paradigme kumulatívnych refúgií, Apeninský a Balkánsky polostrov na severe hostia najmä mladšie pleistocénne haplotypy a línie. Recentná expanzia populácií *S. candicans* sa mohla udiť v strednom Pleistocéne, s populačnou expanziou na spomínaných dvoch polostrovoch. Prítomnosť unikátnych haplotypov v strednej Európe indikuje existenciu extra-meditéransých mikrorefúgií. Po prvý krát v štúdiu prezentujeme súhrnnú fylogeografiu lišajníka z mediteránu a zároveň poukazujeme na prežívanie na teplo adaptovaných lišajníkov v temperátnej zóne počas glaciálu. U fotobiontov študovaných lichenizovaných húb sme zásadnú väzbu na bioklimatické a geografické podmienky nezistili.

U ektomykoríznych húb dochádza ku klimatickej a geografickej izolácii druhov, ale v rámci určitých línií dochádza k evolúcii sympatrických druhov (nachádzajúcich sa na jednom území). Tieto sympatrické koexistencie vysvetľujeme recentnou migráciou druhov ale aj adaptáciou na lokálne ekologické podmienky a špecializáciou druhov na určitú ekosystémovú

funkciu spočívajúcu v interakcii s rastlinným symbiotickým partnerom. Rozšírenie druhov v skupine ektomycoríznych húb pravdepodobne súvisí a je limitované rozšírením ekosystému alebo habitatu na ktorý sa tieto druhy adaptovali. Druhy vyskytujúce sa v boreáli a hemiboreáli sú pravdepodobne cirkumpolárne rozšírené. Mediteránne druhy nie sú viazané výskytom len na Európu ale vyskytujú sa v podobných habitatoch v celom okolí Stredozemného mora, teda aj v Malej Ázii a pravdepodobne aj Severnej Afrike. Prenikanie temperátnych druhov do klimaticky podobných oblastí Severnej Ameriky a Ázie sme nepotvrdili.

U múčnatiek sme zistili silnú väzbu druhov na druh alebo skupinu druhov rastlinných hostiteľov. Ich areály rozšírenia v Európe ukazujú veľký prienik. U múčnatiek na dube sme zistili pravdepodobnú adaptáciu na mikroklimatické podmienky, ktoré môžu byť priaznivé aj pre viacero druhov na jednom strome či dokonca liste. U múčnatiek na jaseňi sme zistili v Európe napriek predpokladu vyššej diverzity len jediný druh. Nižšia diverzita bola zistená aj u múčnatiek na vrbách, kde sme zistili dva druhy viazané na dva skupiny vrb s rôznymi povrchovými vlastnosťami listov (úzke listy s voskovou vrstvou, široké listy s chlpatým povrchom).

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)

Our hypothesis that occurrence of fungi does not depend solely on ecological conditions but also on bioclimatic and geographical factors was confirmed. The strongest connection of distribution to bioclimatic conditions show lichenized fungi, specifically fungal part (mycobiont). Detailed study of mycobiont *Solenopsis candicans* with distribution centre in Mediterranean and extending to Atlantic, Pannonian and Carpathian areas confirmed its connection to bioclimatic and geographical areas. Existence of several diversity centres and refugia across whole Mediterranean was detected. The estimated diversification times suggest Mesozoic origin of mycobiont and intraspecific diversification starting from middle Miocene. Distribution of the most diverse haplotypes, especially of pre-Pleistocene origin is limited to east or west margins of Mediterranean, demonstration Kiermack disjunction. While south Mediterranean exhibits diversity of both Mesozoic and Cenozoic origins corresponding to paradigm of cumulative refugia, Apennine and Balkan peninsulas to the north host mostly younger Pleistocene haplotypes and lineages. The recent expansion of *S. candicans* populations probably happened in middle Pleistocene simultaneously with population expansion on both mentioned peninsulas. Presence of unique haplotypes in central Europe indicates of extra-Mediterranean microrefugia. We present first time comprehensive lichen phylogeography in Mediterranean and moreover we detected surviving of thermo-adapted lichens in temperate zone during the glacial. We did not recognise any connection of photobionts to bioclimatic or geographic conditions.

Climatic and geographical diversification is also present in ectomycorrhizal fungi, but within some lineages we recognised evolution of sympatric species (present in the same area). These sympatric coexistences are explained by recent migration of species, their adaptation to local ecological conditions and their specialisation to certain ecosystem functions related to their interaction with symbiotic plant host trees. The distribution of ectomycorrhizal fungal species most probably depends and is limited by distribution of ecosystem or habitat to which are these fungi adapted. Boreal species are probably circumpolar. Mediterranean species are not limited to Europe, but they occur also in similar habitats all around Mediterranean sea, including North Africa and Mediterranean coast of Asia. Expansion or occurrence of temperate species in North America and South and Southeast Asia was not confirmed.

Occurrence and distribution of powdery mildews (*Erysiphaceae*) widely depends on species or lineages of plant hosts. Their distribution areas in Europe show high overlaps. Powdery mildews on oak leaves are probably adapted to microclimatic conditions, but these can be suitable for more species allowing presence of multiple species on a single tree or even leaf. Contrary to literature sources, we did not detect presence of multiple species on *Fraxinus*, only one species is present in Europe. The lower diversity that expected based on literature was also detected for *Salix*-dwelling species. We recognised only two species inhabiting trees with different leaf surface characteristics (narrow leaves with waxy surfaces and broad leaves with hairy surfaces).