

Mají se vzácné druhy rostlin bát křížení s hojnějšími příbuznými? III. Nové hrozby pro horské vrbovky

V tomto seriálu se věnujeme mezidruhovému křížení u cévnatých rostlin a snažíme se přiblížit, jak může hybridizace ovlivnit populace vzácných, ohrožených a mizejících druhů. V první části (Živa 2024, 6: 308–311) jsme popsali obecné aspekty křížení u rostlin a jeho důsledky pro populace a pro evoluci druhů, následně jsme představili jeden z nejvzácnějších druhů naší květeny, kopřivu lužní (*Urtica kioviensis*), a přiblížili ohrožení jejich zbývajících populací hybridizací s hojnou kopřivou dvoudomou (*U. dioica*). V druhém dílu (Živa 2025, 1: 12–15) jsme představili mokřadní sítiny z okruhu sítiny článkované (*Juncus articulatus* agg.) a popsali rozsah křížení u mizející slatinné s. alpské (*J. alpino-articulatus*). Ve třetí, poslední části se podíváme na vzácné horské druhy vrbovek (*Epilobium*). Pomocí sekvenování DNA a průtokové cytometrie jsme analyzovali jejich populace a zjistili, že křížení s běžnými, zejména v poslední době se šířícími druhy vrbovek přispívá k jejich ohrožení a ústupu.



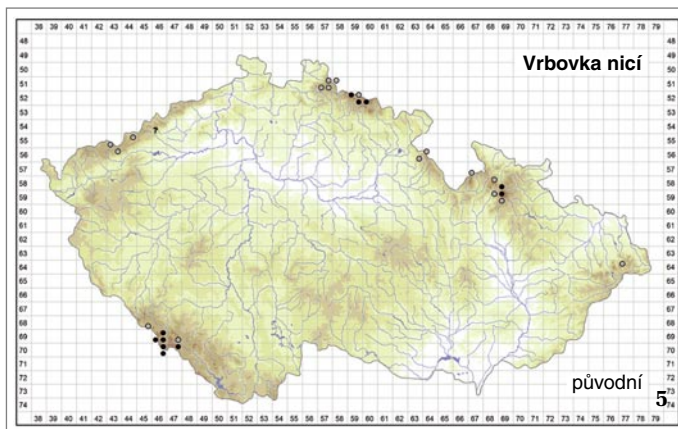
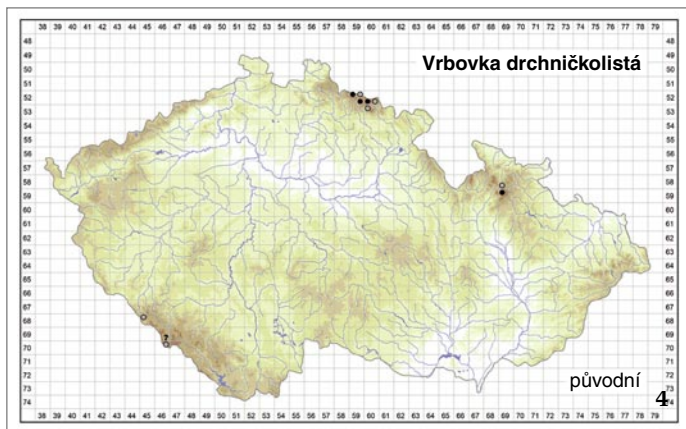
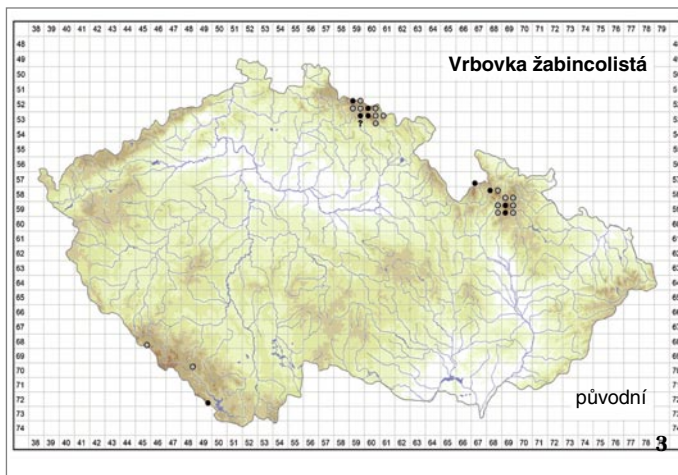
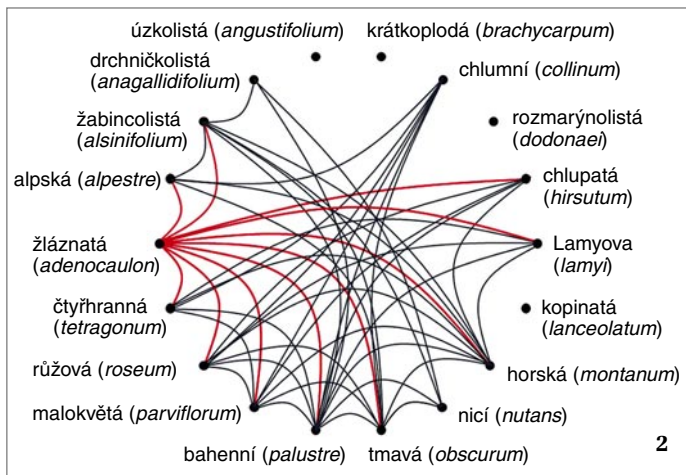
Tab. 1 Deset rodů české květeny s nejvyšším počtem známých mezidruhových kříženců. Započítáni jsou pouze recentně vznikající primární kříženci, nikoli hybridogenní druhy.

Rod	Počet kříženců
vrbovka (<i>Epilobium</i>)	49
vrba (<i>Salix</i>)	40
ostřice (<i>Carex</i>)	36
pcháč (<i>Cirsium</i>)	36
violka (<i>Viola</i>)	31
šťovík (<i>Rumex</i>)	30
divizna (<i>Verbascum</i>)	28
mochna (<i>Potentilla</i>)	22
chrpa (<i>Centaurea</i>)	18
prstnatec (<i>Dactylorhiza</i>)	17

Vrbovky (obr. 1) jsou nízké až středně vysoké byliny zpravidla s růžovými květy a lodyhou se světle až tmavě zelenými, obvykle střídavými nebo vstřícnými, na okraji většinou zubatými listy. Plodem je dlouhá čtyřpouzdrá tobolka s mnoha semeny, která mají na vrcholu chmýr umožňující jejich šíření větrem na velké vzdálenosti. Systematicky náležejí mezi dvouděložné rostliny a jsou řazené do čeledi pupalkovitých (*Onagraceae*). Vlastní pupalky se liší mimo jiné většími žlutými květy a semeny bez chmýru.

Vrbovky patří mezi rostliny, které se často kříží. Svědčí o tom i skutečnost, že rod s nejvyšším počtem zjištěných mezidruhových kříženců u nás je právě vrbovka (tab. 1). Hybridizace se účastní většina našich druhů, 14 z 18 (obr. 2). Jedním z nejrozšířenějších a zároveň nejčastěji se křížících druhů je vrbovka žláznatá (*E. adeno-caulon*), která je u nás nepůvodní. Pochází ze Severní Ameriky a v České republice byla poprvé zjištěna v r. 1926. Od té doby se výrazně rozšířila, vyskytuje se prakticky po celém území státu (obr. 6) na širokém spektru stanovišť – od přirozených až po vzniklá lidskou činností. Zařadila se mezi zcela zdomácnělé rostliny a na mnoha územích je nejběžnějším druhem rodu, kromě toho se zapojila i do hybridizace s domácími druhy.

U nás rostoucí druhy vrbovek se mezi sebou často vzájemně liší vazbou na biotopy a frekvencí výskytu. Např. vrbovka chlupatá (*E. hirsutum*) roste často podél potoků a na dalších mokřích narušovaných stanovištích, v. úzkolistá (*E. angustifolium*) nejčastěji na lesních pasekách, v. horská (*E. montanum*) podél cest a na jiných ruderalních, ale i přirozených stanovištích, v. tmavá (*E. obscurum*) na lesních prameništích a mokřích loukách a v. bahenní (*E. palustre*) nejčastěji na rašelinných loukách. Některé vrbovky jsou ale vzácné a mezi ty nejvzácnější patří tři vysokohorské druhy – vrbovka níčí (*E. nutans*), v. žabincolistá (*E. alsinifolium*) a v. drchničkolistá (*E. anagallidifolium*). Vyskytují se pouze v nejvyšších horských polohách, především v Krkonoších, Hrubém Jeseníku a na Šumavě, jen velmi vzácně i v jiných oblastech (obr. 3–5). I na územích s nejvyšším počtem lokalit jsou ale vzácné, protože jsou vázány na specifické typy stanovišť – rostou na prameništích, drobných lesních rašelinových, březích horských potůčků a na mokřavých skalkách



1 Vrbovka žabincolistá (*Epilobium alsinifolium*) má optimum výskytu na vysokohorských prameništích s převahou mechorostů, nejčastěji na prudkých svazích karů. Snímek z Velké kotliny v Hrubém Jeseníku.

Foto L. Kuchyňková

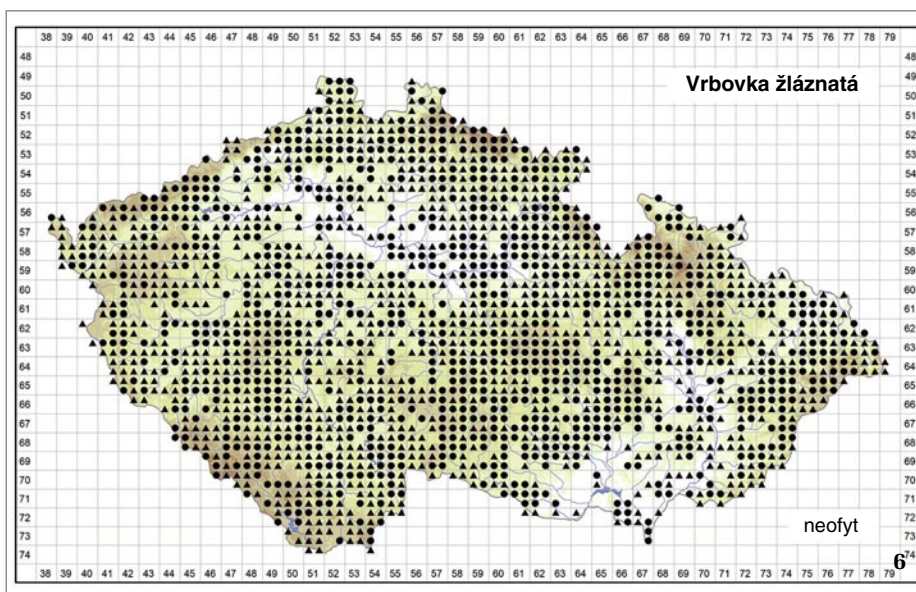
2 Přehled českých vrbovek (*Epilobium*) a u nás zjištěných mezidruhových kříženců. Kříženci s účastí nepůvodní vrbovky žláznaté (*E. adenocaulon*) jsou označeni červeně. Orig. Z. Kaplan

3 až 5 Rozšíření vzácných vysokohorských vrbovek v České republice – v. žabincolisté (obr. 3), v. drchničkolisté (*E. anagallidifolium*, 4) a v. nicí (*E. nutans*, 5). Mapy jsou překryty sítí středoevropského síťového mapování. Kvadranty s výskytem druhu potvrzeným po r. 2000 jsou označeny černým bodem, kvadranty se zaniklým výskytem šedě.

6 Rozšíření nepůvodní vrbovky žláznaté v České republice. Černým bodem jsou označeny kvadranty s výskytem druhu doloženým herbářovým sběrem, trojúhelníkem výskyt podložený údajem z jiných zdrojů.

Mapy zpracoval J. Danihelka (obr. 3–6).

ve vysokohorských smrčínách a nad horní hranicí lesa (obr. 7 a 8). Některé dříve známé výskytly nebyly v posledních desetiletích potvrzeny, a k vyhynutí došlo dokonce i v některých celých pohorích, konkrétně vrbovky drchničkolisté na Šumavě a v. nicí v Krušných, Jizerských a Orlických horách i na Králickém Sněžníku. Kvůli své celkové vzácnosti kombinované s úbytkem populací jsou všechny tři vysokohorské vrbovky oprávněně zařazeny do Červeného seznamu ohrožených druhů.



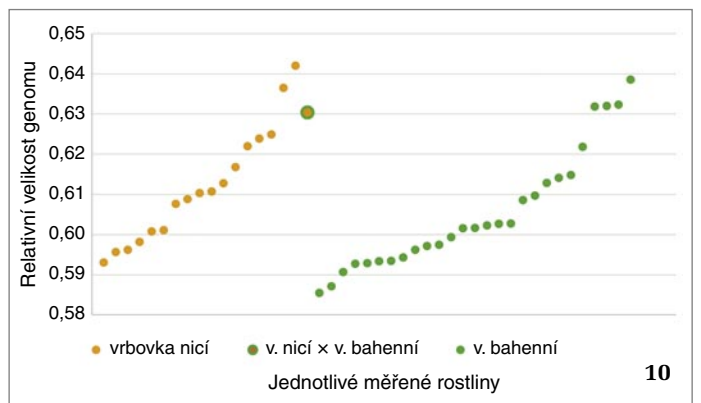
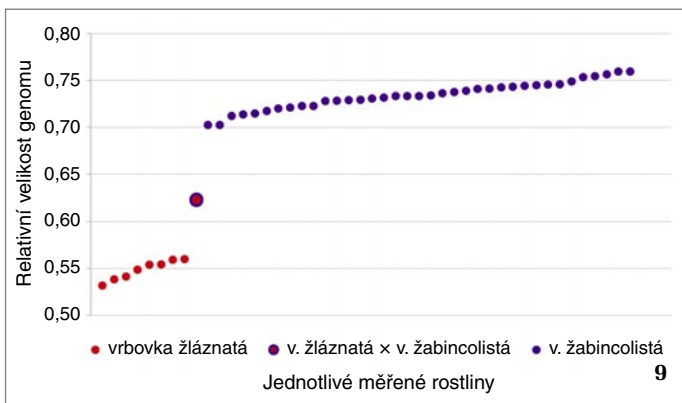
Jaký je současný stav populací horských vrbovek?

V posledních desetiletích se začalo ukazovat, že nepůvodní vrbovka žláznatá se dostala už i do nejvyšších poloh a tam do kontaktu s našimi původními vzácnými vrbovkami, se kterými se následně začala křížit. Přesné vyhodnocení rozsahu a frekvence hybridizace a jejího nebezpečí pro horské vrbovky ale dosud chybělo. Rozhodli jsme se proto navštívit dostupné lokality vrbovek na Šumavě, v Jizerských horách, Krkonoších a Hrubém Jeseníku, zhodnotit jejich místní diverzitu a odhadnout míru ohrožení vzácných druhů mezidruhovou hybridizací.

Jednotlivé druhy vrbovek jsou si dost podobné a liší se v míře a charakteru odění

dílčích orgánů, velikosti a tvaru listů, velikosti květních orgánů a v dalších, převážně kvantitativních znacích. Právě kvůli celkové podobnosti druhů je určování mezidruhových kříženců někdy dost obtížné a při využití pouze morfologických znaků nespolehlivé, zvláště když rostliny zrovna nemají vyvinuty všechny znaky potřebné k určování. Využili jsme proto kombinaci dvou dalších metod – sekvenování DNA a průtokové cytometrie. Na každé navštívené lokalitě jsme nejdříve posoudili morfologickou variabilitu vrbovek a odebrali vzorky na analýzy od každého morfologicky odlišitelného typu tak, abychom pokryli celkovou diverzitu.

Pro spolehlivou identifikaci hybridů jsme nejprve potřebovali najít mezidruhové



rozdíly ve vybraných úsecích DNA a ve velikosti genomu. Pro sekvenování DNA jsme použili úsek ITS jaderné ribozomální DNA, který je jedním z nejčastěji používaných markerů při hledání mezidruhových rozdílů a prokázání hybridizace, a dále dva úseky chloroplastové DNA, jež se dědí pouze po mateřské linii, a umožňuje tak zpětně identifikovat směr přenosu pylu při křížení. ITS se ukázala u vrbovek jako velmi vhodný marker, protože obsahovala velice málo šumu, ale naopak dostatečné množství druhově specifických pozic jak pro odlišení druhů, tak odhalení kříženců. Některé druhy se mezi sebou liší i ve velikosti genomu, což opět umožnilo potvrdit identitu jejich kříženců (obr. 9). Naproti tomu u jiných druhů se rozsahy hodnot relativní velikosti genomu z velké části překrývají, a hybridy proto pouze uvedenou metodou prokázat nelze (obr. 10).

Vysokohorské vrbovky se nám podařilo najít v Krkonoších, Hrubém Jeseníku a na Šumavě (obr. 1, 11 a 12). Na 7 lokalitách jsme identifikovali křížence celkem 8 hybridních kombinací, z nichž ve čtyřech případech se hybridizace účastnily vysokohorské vrbovky. Na Šumavě jsme potvrdili hybridy vrbovky žabincolisté a v. žláznaté, v. tmavé a v. žabincolisté, v. bahenní a v. nicí a také dvě lokality kříženců vrbovky nicí s v. tmavou a v. bahenní s v. tmavou. V Krkonoších jsme našli křížence vrbovky bahenní s v. žláznatou a vrbovky nicí s v. žabincolistou. V Hrubém Jeseníku jsme žádné hybridy nezjistili. V Jizerských horách jsme nenalezli žádné vysokohorské vrbovky, ale při sběru rostlin čistých rodičovských druhů pro srovnání jsme objevili křížence vrbovky tmavé a v. žláznaté.

Na některých z navštívených lokalit jsme ani přes podrobné hledání žádné vysoko-

horské vrbovky nenašli, a to i přesto, že odtamtud existují věrohodné údaje z předcházejících desetiletí. Někde patrně způsobila jejich vymizení kůrovcová kalamita v monokulturách smrčín v letech 2003–10, která vedla ke vzniku rozsáhlých holin a následnému vyschnutí drobných lesních pramenišť, horských potůčků a vrchních vrstev rašelinišť. K tomu celoplošně ještě přispěly extrémně horké a suché roky 2015–19. Na mnoha místech jsme našli jen jednotlivé rostliny nebo několik desítek jedinců horských vrbovek. Právě v takových případech může být hybridizace tím posledním hřebíkem do rakve již tak oslabených populací vzácných rostlin. Přestože kříženci vrbovek jsou zpravidla z velké části nebo úplně sterilní a díky tomu nehrozí genetická eroze rodičovských druhů, populace těchto druhů jsou při probíhající hybridizaci oslabovány zbytečnou investicí do



7 a 8 Typická stanoviště vysokohorských vrbovek. Prameniště na okraji lesního rašeliniště Pod Kostelním vrchem v I. zóně národního parku Šumava (obr. 7) a svahové prameniště na alpských trávnících ve Velké kotlině v Hrubém Jeseníku (8). Foto Z. Kaplan (obr. 7) a L. Kuchyňková (8)

9 a 10 Relativní velikosti genomu vrbovky žláznaté, v. žabincolisté a jejich křížence (obr. 9), a vrbovky nicí, v. bahenní (*E. palustre*) a jejich křížence (10). Vzorky rodičovských druhů pocházejí z více lokalit, aby byla dostatečně pokryta vnitrodruhová variabilita.

Vzorky každého taxonu jsou v grafech seřazeny podél osy x podle vzrůstající hodnoty poměru velikostí genomu vzorku vůči standardu na ose y; jako standard byla použita ostřice kalužní (*Carex acutiformis*). Zatímco v prvním případě se rodičovské druhy liší v relativní velikosti genomu, což umožňuje i detekci jejich křížence, u druhé dvojice se rozsahy hodnot velikostí genomu z velké části překrývají a křížence je podle tohoto parametru neurčitelný. Orig. Z. Kaplan

11 Vrbovka nicí na prameništi na okraji rašeliniště Zwieselter Filz v bavorské části Šumavy. Zdejší populace vrbovek jsou ohroženy vysycháním, protože celou oblast postihla kůrovcová kalamita a došlo k odumření okolních smrčů.

12 Prameniště na svahu hory Polom u Železné Rudy na Šumavě s výskytem vrbovky žabincolisté, v. tmavé (*E. obscurum*) a kříženců v. žabincolisté s v. žláznatou a vrbovky tmavé s v. žabincolistou. Kříženci, přestože jsou sterilní, se zde rozrůstají vegetativně. Populace čistých druhů jsou ohroženy kombinací narušení okolního prostředí, vysychání biotopu a hybridizace. Foto M. Štech (obr. 11 a 12)

sterilního hybridního potomstva a nedostatkem fertálních potomků pro obnovu čistých populací (blíže v první části seriálu). Kromě toho se sterilní kříženci vrbovek dokážou rozmnožovat vegetativně, díky kombinaci alel od dvou různě adaptova-

ných druhů mohou být biologicky zdatnější a začít postupně vytlačovat drobnější vysokohorské vrbovky v konkurenci o prostor a zdroje. Tento teoretický předpoklad jsme pozorovali na některých lokalitách a např. na rašeliništi Pod Kostelním vrchem nedaleko Srní na Šumavě jsme našli už pouze křížence vrbovky nicí a v. tmavé, zatímco čisté rostliny prvního rodičovského druhu jsme nenašli ani přes cílené hledání při opakovaných návštěvách v letech 2022 a 2024.

Nepůvodní vrbovka žláznatá proniká do populací vysokohorských vrbovek zatím jen málo. Je to dáno tím, že se šíří převážně podél cest a na dalších narušovaných antropogenních stanovištích, zatímco lokality vysokohorských vrbovek bývají většinou maloplošná a od sekundárních stanovišť izolovaná místa v zachovalých vrcholových částech pohoří. Se stále se rozšiřujícím vlivem lidské činnosti se ale otevírá cesta k dalšímu šíření nepůvodních druhů včetně vrbovky žláznaté, která se pak dostává do kontaktu s populacemi vzácných vrbovek. Kříženci vrbovky žabincolisté a v. žláznaté rostli právě na velmi degradované ploše, a to na malém prameništi (obr. 12) na holině vzniklé po odtěžení smrčů po kůrovcové kalamitě na svahu hory Polom u Železné Rudy na Šumavě, 135 m od nejbližší cesty. Obdobně dřívější nálezy kříženců vysokohorských vrbovek v Krkonoších byly z míst, kde předtím došlo k výraznému mechanickému narušení lučních prameništ, která pak kolonizovala vrbovka žláznatá. Můžeme tedy konstatovat, že ohrožení a ústup populací těchto druhů je způsoben kombinací několika negativních faktorů. Pro zachování vysokohorských vrbovek v naší květeně je proto nezbytné v co největší míře minimalizovat vliv člověka na jejich citlivé biotopy.

Závěrem seriálu

Ve třech případových studiích jsme upozornili na rizika, která může pro obvykle málo početné populace vzácných druhů přinášet mezidruhové křížení, ať už s běžnějšími původními druhy, nebo s nepůvodními druhy, které se v krajině často

velmi rychle šíří, většinou jako důsledek lidské činnosti. Současně jsme představili průtokovou cytometrii jako poměrně jednoduchou, rychlou a levnou metodu použitelnou v případě heteroploidního křížení nebo v případě homoploidního křížení mezi rodičovskými rostlinami s různou velikostí genomu pro potvrzení hybridního původu morfologicky přechodných rostlin. Významně nám přitom může pomoci hlavně u dvojic podobných druhů, kdy je odlišení hybridních rostlin pouze na základě morfologie velmi nejisté a nespolehlivé. Při podrobnějším studiu hybridních zón je ale vhodné zvolit i jiné přístupy. Pro předpovězení dalšího vývoje těchto zón je zásadní zjistit fertilitu hybridů (zda tvoří semena a životaschopný pyl), i to, jestli se mohou vegetativně šířit (výběžky apod.), a přetrvávat tak na lokalitě i při absenci generativního rozmnožování. Do struktury hybridních zón můžeme nahlédnout i s pomocí vhodných molekulárních markerů, jde ale už o postupy náročné jak na financování, tak na získání a expertní vyhodnocení dat. V neposlední řadě je pak potřeba chápat hybridizaci v širších souvislostech dalších možných ohrožení, jako jsou fragmentace krajiny nebo změny abiotických a vegetačních poměrů na lokalitách, kterým se úzce specializované druhy nedovedou přizpůsobit. A mít naději, že vhodné a promyšlené ochranné zásahy mohou někdy omezit negativní důsledky hybridizace, jako v případě vzácné sítiny alpské z druhého dílu naší série.

Spoluautoři: Lenka Kuchyňková, Jiřina Josefiová, Jindřich Chrtěk, Tomáš Urfus, Jan Prančl a Marek Slovák

Článek vznikl s podporou Technologické agentury ČR v programu Prostředí pro život (č. SS05010035) a podporou na dlouhodobý koncepční rozvoj Botanického ústavu AV ČR, v. v. i., RVO: 67985939.

Seznam použité literatury uvádíme na webové stránce Živý.