

2 Při smýkání klíšťat na horských lokalitách v Jeseníkách. Foto M. Daniel

3 Vlasta Danielová výrazně přispěla k rozvoji metod izolace arbovirů s využitím buněčných kultur *in vitro*. Záchyt viru klíšťové encefalitidy na buněčné kultuře prasečí ledviny 24 hodin po infekci znázorněn pomocí nepřímé imunofluorescence. Barveno fluorescein isothiocyanátem, infikované buňky svítí zeleně.

4 Studium interakce bakterie a buňky. Extracelulární a intracelulární lokalizace *Yersinia enterocolitica* na buněčné kultuře myši linie P388 znázorněná pomocí dvojího fluorescenčního barvení. Extracelulární bakterie jsou celé znázorněny barvením fluorescein isothiocyanátem (svítí zeleně). U intracelulárně lokalizovaných bakterií je patrná pouze jejich DNA obarvená olivomycinem, která svítí žlutě stejně jako buněčné jádro. Bakterie přichycené na povrchu buňek poblíž jádra jsou přesvětleny žlutě, ale od intracelulárních se liší velikostí.

5 Studium pronikání viru Ťahyňa do orgánů komárů. Slinné žlázy komára infikované virem 51 dní po jeho nasátí na viremickém křečkovci (infikovaná tkáň svítí). Znázorněno pomocí nepřímé imunofluorescence, barveno fluorescein isothiocyanátem. Snímky V. Danielové, pokud není uvedeno jinak

6 S profesorkou arbovirologie Patricií Nutallovou z Oxfordské univerzity při její návštěvě Prahy na jaře 2014. Foto M. Daniel

v předchozích desetiletích byl v tomto ohledu bezvýznamný. Rovněž tato práce je často citována, stejně jako publikace popisující průkaz klíšťat infikovaných virem KE a boreliemi v horských polohách Krkonoš. Posun do vyšších poloh se podařilo prokázat i v Jeseníkách a na Šumavě. V letech 2009–12 se Vlasta spolu se svým manželem Milanem podílela na našem přes-



hraničním projektu s názvem Mapování klíšťat a jimi přenášených původců infekčních nákaz v jižních Čechách a Dolním Bavorsku, v rámci programu Ziel-3, který vyústil ve vypracování specializovaných předpovědních map rizika onemocnění klíšťovou encefalitidou či lymfskou boreliózou ve studovaných regionech.

V závěru výčtu badatelských počinů Vlasty Danielové se patří uvést, že je autorkou nebo spoluautorkou více než 200 původních odborných publikací v domácích i mezinárodních časopisech, tří vědeckých monografií a také spoluautorkou několika knižních publikací doma i v zahraničí. Zúčastnila se mnoha vědeckých/odborných konferencí, symposií a kongresů u nás i v jiných zemích, kde prezentovala své výsledky, často jako zvaná přednášející. Znalosti v oblasti arbovirů a tkáňových kultur zúročila i v přednáškách pořádaných

Institutem pro další vzdělávání lékařů a farmaceutů v Praze – v přípravných kurzech pro atestace z mikrobiologie i v postgraduálních kurzech. Je členkou České (dříve Československé) parazitologické společnosti od jejího založení a členkou Československé mikrobiologické společnosti.

Jak jsem již zmínil, velkou láskou manželů Danielových je cestování, a to nejen spojené s jejich vědeckou prací, nýbrž také za poznáním, přibližující jim zajímavá místa v Evropě i ve světě. Měl jsem s nimi v této souvislosti zajímavé štěstí na náhodná setkání. První se odehrálo v botanické zahradě univerzity v Uppsale, kde jsem coby hostující výzkumník v létě 1989 dojídal k obědu sendvič, když koho nevidím – Danielovi. Jaké milé setkání daleko od domova. Podruhé bylo stejně nečekané a milé – odehrálo se před dvěma lety v rakouských Vysokých Taurech u Krimmlských vodopádů. Tam jsem při rodinné dovolené zastihl Vlastu a Milana při náročném vysokohorském turistice. Na mou otázku po receptu na aktivní život plný elánu a entuziasmu Vlasta odpověděla: „Při stručné rekapitulaci let uplynulých mně jako nejdůležitější přišlo rodinné zázemí a to, že jsem mohla po většinu profesního života dělat, co jsem si ve svém mládí přála a co mě vždy velmi bavilo a těšilo.“

Milá Vlasto, chtěl bych Ti za sebe i všechnu další spolupracovníky z celého srdce poděkovat za přátelský a vpravdě kolegiální přístup v průběhu mnohaleté spolupráce, za všechnu pomoc, rady a sdílené zkušenosti z oblasti infekčních nákaz přenášených členovci. Současně Ti přeji pevné zdraví, životní elán, pracovní entuziasmus na Tvé společné cestě s Milanem. Ať vás nepřestává bavit přemýšlet o nových pokusech a studiích k problematice nákaz přenášených klíšťaty, jejich epidemiologii a ekologii.

Ad multos annos!

Jaromír Vaňhara, Peter Fedor, Josef Havel

Umělá inteligence a taxonomie: jsou entomologové ohroženým druhem?

S tříděním živočichů to bylo dříve docela jednoduché, z počátku dnů se v Bibli hovoří pouze o „rybách mořských, ptactvu nebeském a ostatních živočiších, kteří se hýbají na zemi.“ Dále je v textu Bible asi 120 entomologických odkazů i na konkrétní druhy. Aristoteles jako průkopník entomologie ve svém deduktivním systému uváděl „krevnatce“ a „bezkrvé“, do nichž správně řadil hmyz, ale včetně např. pavouků nebo stonožek. Znal asi 500 druhů. Během následujících staletí pak šlo většinou jen o jakési entomologické tápání (postavené na aristotelismu), kterému teprve C. Linné, jak známo, dal r. 1758 dodnes platný řád a využil přitom i Aristotelovy entomy (což jsou Aristotelovy skupiny na úrovni současných řádů) *Diptera*,

Coleoptera nebo *Hymenoptera*. Je však zapotřebí poznamenat, že u mimoevropských civilizací byly znalosti kategorizace hmyzu, především škůdců v zemědělství, poměrně vysoké. Od doby 10. vydání *Systema Naturae* počet známých druhů hmyzu neustále stoupá, přitom jsme však stále daleko od poznání všeho hmyzu, protože odhady hovoří o dalších jednotkách až desítkách milionů nepopsaných. Dříve mohl jeden entomolog pokrýt svými znalostmi všechny poznány hmyz, s rozkvětem oboru během minulých desetiletí je prakticky nezbytné mít tolik specialistů, kolik existuje skupin. Přitom jde mnohdy o celoživotní specializaci jen na úrovni jedině čeledi (např. u dvoukřídlých), ale ve světovém rozsahu.

Status quo

Determinace je základním úkonem v systematické biologii a pro poznání biodiverzity hraje nezastupitelnou roli, rovněž tak i ve většině praktických biologických aplikací. Z těch entomologických můžeme jmenovat např. management ochrany přírody a ohrožených druhů, humánní i forenzní lékařství a veterinární medicínu, ochranu proti škůdcům v zemědělství a lesnictví a jejich monitorování, ekologii společenstev apod. Současný progresivní přístup k určování (nejen) hmyzu se zakládá na principu integrativní taxonomie, což je víceodrovojový metodický postup, používající nezávislé způsoby determinace vedoucí ke stejnému výsledku, v tomto případě k pojmenování druhu. Integrativní přístup tedy spojuje všechny známé fenotypové i genotypové informace o studovaném jedinci a využívá je pro úplné a reciproční potvrzení správnosti uplatněných metod i názvu druhu. Identifikace založená na několika nezávislých přístupech tak představuje velmi precizní trend v entomologii (ale i v zoologii obecně) a umožňuje nejen ověřovat správnost určování, ale zároveň odhalovat skryté nebo

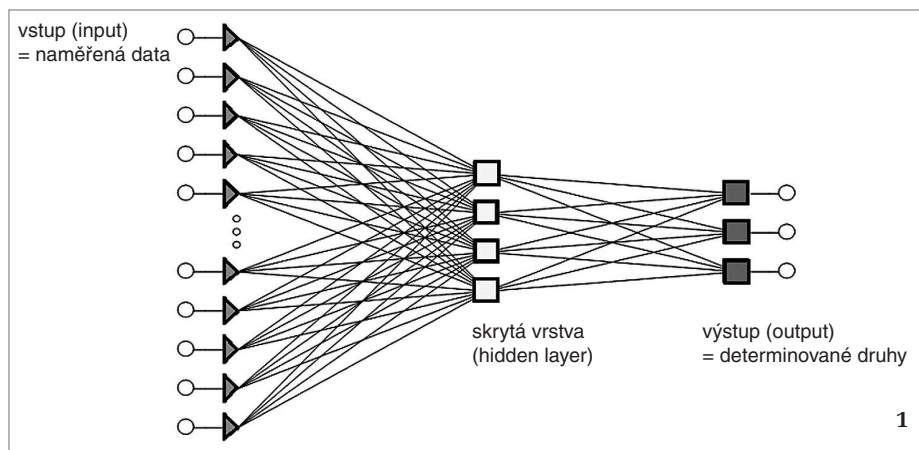
zcela nové druhy. Takto transformovat taxonomický proces vyžaduje nové přístupy i nástroje. Kromě zavedených metod, jako je srovnávací morfologie a dnes už i molekulární analýza, bylo v posledních letech ověřováno také využití umělých neuronových sítí (ANN, Artificial Neural Networks), které jsou součástí metod tzv. umělé inteligence. Inovativní postup ANN nabízí rychlý výsledek u mnohdy časově náročné rutinní determinace velkých objemů materiálu, ve srovnání s tradičními dichotomickými nebo obrázkovými klíči. Tato metoda není destruktivní a lze ji využít např. i pro typový materiál, na rozdíl od jiných metod, včetně molekulárních. Navzdory zřejmé výhodě, kterou ANN přináší, zůstává jejich uplatnění v entomologii stále velmi ojedinelé.

Umělé neuronové sítě

Z biologického pohledu jsou ANN podobné nervovému systému člověka, který je schopen učit se a poznání aplikovat při následném řešení zadaných úkolů nebo problémů. V umělých neuronových sítích se znalosti ukládají v matematické podobě biologických nervových buněk. Neuronové sítě jsou na počátku ve fázi učení (trénování), kdy pouze přijímají informace. Neuronové sítě musí být předložen vzor (naměřená data), který porovná se zadaným výsledkem (determinované druhy), až je dosaženo co nejvyšší shody mezi druhy určenými entomologem a vypočtenými ANN. Podobně jako v biologických sítích je i zde využívána zpětná vazba, kdy dojde v jediném okamžiku k porovnání „všeho se vším“ (obr. 1). Takto se ANN dostávají do fáze znalosti, tedy vybavování si znaků typických pro každý druh (determinace). Při následném využití již „natrénovaných“ ANN síť pouze dostává na vstup (input) sadu neurčených jedinců (jejich naměřená data), jež si sama utřídí tak, že označí jménem typické zástupce, které pozná podle dříve zařazených druhů. Tato determinace pak proběhne téměř okamžitě, zatímco i zkušenému entomologovi zabere mnohem delší dobu.

Matematická podstata ANN však bývá pro mnoho biologů stále málo srozumitelná. Pro snazší pochopení jsou ANN připodobněny k „black box“, což je technický termín pro zařízení nebo systém, kde ovlivňujeme pouze námi vkládaná data vstupu, zatímco vlastní znalostní přenos a výstup pracuje samostatně. Je ale nezbytné konečné interpretování získaných výsledků.

Při využití ANN k identifikaci lze vymezit 6 postupných kroků: největší úsilí musíme vynaložit při prvním kroku, a to k vytvoření bezchybné tréninkové databáze, založené na dostatečném vzorku jedinců, naprosto spolehlivě určených, tedy vymezených specifickými znaky. Počítačový model pak hledá vzájemný vztah mezi těmito znaky (input) a příslušnými druhy (output). Čím více správně určených jedinců se do databáze vloží, tím lépe bude zachycena druhová variabilita. Ale i opačně, pokud jsou vybrány kvalitní diagnostické znaky, tím méně jedinců od každého druhu potřebujeme pro vybudování tréninkové databáze. Výhodou je, že systém kombinuje schopnost učit se z podoby každého nového jedince a zobecněné podoby již



1 Schéma umělé neuronové sítě (ANN) s jednou skrytou vrstvou a třemi determinovanými druhy. Volně upraveno podle: J. Vaňhara a kol. (2007) pro modelové druhy rodu kuklice (*Tachina*, Diptera)

2 Zástupce taxonomicky komplikovaného rodu *Tachina*, na jehož 12 západo-palearktických druhů byl aplikován princip ANN. Foto P. Pařil



dříve určených jedinců téhož druhu. Druhým krokem je nalezení vhodné architektury modelu a třetím pak stanovení optimálního počtu uzlů (nodů) ve skryté vrstvě (hidden layer). Tyto a následující děje už tvoří součást softwarové podstaty a vyžadují zvládnutí počítačového programu (např. Trajan). Čtvrtý krok představuje trénink, během něhož jsou výstupy aproximovány cílové hodnotě, která je dána vstupy tréninkového setu (pomocí např. algoritmu Back Propagation). Spolehlivost databáze a zjištěných druhů musí být ověřena při pátém kroku využitím principu křížového ověřování správnosti (cross validation). Šestým a cílovým krokem je velmi rychlá identifikace neznámých jedinců podle natrénované databáze, kterou provádí systém samostatně.

Pro vybudování databáze mohou sloužit určovací znaky běžně používané v klíčích, kvalitativní i kvantitativní, tedy měřitelné odlišnosti tělních struktur a jejich přítomnost nebo absence, barva částí těla, meristické znaky (tedy ty, které se dají spočítat), zahrnout musíme pohlaví apod. Mimo klasickou taxonomii můžeme při aplikaci ANN pracovat i s daty získanými pomocí spektrofotometrie (měří vlastnosti vzorku na základě pohlcování světla), hmotnostní spektrometrie (měří hmotnost chemických látek – peptidů, proteinů atd.) a dalších metod; lze také použít analýzu obrazu nebo digitální registraci hmyzu a jeho aktivit optickými nebo zvukovými senzory apod.

Jak již bylo řečeno, většina hmyzu může být na základě kvalitní databáze pomocí ANN rychle určena. Rutinní a opakované měření vstupních dat, včetně samotného „výpočtu“ druhů, pak již zajišťuje technický pracovník, takže specializovaný entomolog má prostor pro skutečně specializovanou práci. Pokud totiž v determinovaném materiálu zůstanou někteří jedinci neurčení a označení za chybu, nebo určení jako jiný druh, tak může jít o chybu v datech (outliers), v lepším případě o další druh, na nějž jsme ANN nepřipravili, nebo do-

konce o nový druh pro vědu, o kterém jsme ani nevěděli (spec. nov.).

ANN se mohou stát i určitou inspirací pro řešení dlouho zanedbávaných taxonomických problémů. A je to opět specializovaný entomolog, který musí vytvořit otázku pro ANN (hypotézu), na niž dobře „připravené“ ANN odpoví. Tento specifický přístup vyžaduje specializovanou subdatabázi pro nasměrování ANN k odpovědi, která je pak pouze ano, nebo ne. Tento případ nastává např. u velké fenotypové plasticity některých druhů, kde ANN systém dokáže „extrahovat“ z dat o vysoké úrovni šumu jen ta nezbytná pro určení druhu, to, co u jiných metod zůstává šumem překryto. Další výzkum je však v této oblasti velmi žádoucí, zejména jde o lepší pochopení výběru znaků a jejich aplikace.

Závěr

Umělé neuronové sítě mají při porovnání s klasickými statistickými nástroji jedno novum – umělo autonomní inteligenci se schopností průběžně se učit a simultánně evaluovat data. Tak získáváme další a nezávislý pohled jakéhosi virtuálního entomologa, využívajícího své vlastní know-how, jak rozlišovat sledované taxony. Je to svým způsobem „génius“, ale „sobecký“, nabízí nám pouze finální produkt bez podrobného vysvětlování. A k tomu jsou potřební zkušení specialisté v oboru entomologie, kteří takto získaným výsledkům dají řád. Budoucnost ANN spočívá tedy hlavně ve zrychlení procesu determinace, případně až v její částečné on-line automatizaci, a to hlavně v aplikované sféře, jako je např. sledování škůdců rutinním a dlouhodobým monitorováním. Takové možnosti by jistě zvýšily popularitu využití ANN v entomologii.

Použitá literatura uvedena na webu Živý.