

Určovací klíče a jejich konstrukce

Identification keys and their construction

Pavel Tomšovic

TOMŠOVIC P. (1976): *Určovací klíče a jejich konstrukce*. [Identification keys and their construction.] *Preslia, Praha, 48 : 355—367*.

Some problems of the theory and construction of identification keys are discussed. Different means of identification are reviewed and the principles as well as techniques of their construction are characterized. The dichotomous bracketed key, constructed by aid of a table of characters or a simple system of perforated cards, is considered to be the most efficient and convenient to satisfy the needs of an average plant taxonomist.

Botanický ústav ČSAV, 252 43 Průhonice, Československo.

Klíče k určování biologických objektů a jiných přírodnin jsou v nejširších přírodovědných kruzích běžně používány. Často jsou první odbornou literaturou, s níž se zájemce o příslušnou disciplínu setkává. O existenci a funkci určovacích klíčů se u nás doví již žák 7. třídy základní devítileté školy (HAŇKA et al. 1967). Metoda určování podle klíčů je zcela běžná a bez větších problémů. Konkrétním návodem je opatřen každý větší (knižní) klíč.

Také sestavování (konstrukce) určovacích klíčů je běžnou součástí práce každého systematického biologa a na první pohled by se mohlo zdát, že zde není žádná problematika, která by se nedala vyřešit okamžitou úvahou bez teoretického podkladu. Určovací klíč je však důležitý způsob prezentace výsledků taxonomického výzkumu a jeho sestavování by nemělo probíhat živelně. Tím spíše, že každodenní praxe ukazuje množství prohrěšků, jichž se dopouštějí autoři klíčů proti optimálním postupům nebo proti vyzkoušeným a většinou uznávaným zásadám. Toto téma je u nás také zcela opomíjeno ve vzdělávání taxonomů, alespoň pokud sahají mé vědomosti, týkající se především botaniky. Je to mj. také tím, že není k dispozici žádná příručka taxonomických metod od dob Dominových Pracovních metod soustavné botaniky, které jsou zastaralé a metodiku sestavování klíčů zcela pomíjejí. Z cizích autorů se ve svých příručkách zabývají sestavováním klíčů především LAWRENCE (1951), ROTHMALER (1955) a DAVIS et HEYWOOD (1963); ze zoologů MAYR et al. (1953). Rozsah těchto partií je úměrný možnostem souborných příruček, tedy poměrně stručný. Speciální práce jsou roztroušené a v některých případech těžko dostupné (METCALF 1954, OSBORNE 1963, HARRINGTON et DURREL 1957, LEENHOUTS 1966, BREMERKAMP 1970 a práce citované dále). Proto jsem se pokusil shrnout v tomto přehledu různé problémy, spojené s teorií a sestavováním klíčů a případně k nim zaujmout vlastní doporučující stanovisko.

Určování nějakého objektu znamená v nejobecnějším smyslu jeho přiřazování k určité třídě předem vytvořeného klasifikačního systému; nezáleží

přítom na způsobu, jakým byla klasifikace vytvořena nebo na jakém principu je založena. Určovací klíč pak lze definovat jako analytické zařízení či pracovní pomůcku, pomocí kterého se provádí přiřazení neznámého objektu ke známé třídě, a to metodou výběru mezi protikladnými znaky nebo alespoň pozitivním zjištěním přítomnosti určitých znaků. Určování neznámých objektů je vlastně do jisté míry reprodukce klasifikačního procesu, a proto může přispět ke kontrole správnosti taxonomických závěrů. Samotné sestavování určovacího klíče je však také jedním z prostředků taxonomické analýzy, neboť je nutno při něm vybírat a oceňovat znaky (MAYR et al. 1953).

Vnější formou se klíči podobá synopsis, ale skutečným obsahem a hlavně účelem se od něj liší. Je to shrnutí klasifikačního systému ve formě přehledu vnitřního členění příslušné skupiny se zkrácenými charakteristikami taxonů; jeho účelem je názorně vyjádřit taxonomickou hierarchii, případně příbuzenské vztahy. Někdy se mluví o „přirozených“ klíčích, tj. těch, které sledují taxonomickou hierarchii v protikladu k „umělým“, které toto hledisko nerespektují a postupují jinak. Toto rozdělování nemá smysl; určovací klíč je zařízení účelové a použití „přirozeného“ nebo „umělého“ postupu (či kombinace obou) je podřízeno požadovanému účelu. Určovací klíče jakožto zařízení účelová mají některé rysy, odlišné od klasifikačních systémů a synoptických přehledů. Např. určovací třídy (taxóny) nemusí být v klíči seskupovány podle vyšších jednotek, z různých důvodů se může tentýž taxón objevovat v klíči na různých místech atd.

Poněvadž obecné principy klasifikace umožňují klasifikovat jakýkoliv soubor faktů, mohou být sestavovány i určovací klíče pro jakýkoliv materiál. Kromě klíčů k určení organismů se často sestavují klíče pro různé izolované orgány. V botanice jsou to listy stromů a keřů, pupeny, borka, plody a semena, pylová zrna, dřevo (podle anatomické stavby) atd. V anorganickém světě jsou sestrojovány klíče k určení minerálů a hornin; povahu klíčů mají také klasické postupy v kvalitativní analytické chemii. Na principu určovacích klíčů jsou založeny automatizované diagnostické postupy v medicíně, ale rovněž tak i návody k hledání poruch přístrojů a strojů, např. automobilu.

Tak jako při každém speciálním a méně běžném tématu je třeba si předem ujasnit používání některých termínů. Pokud se zde a v dalším textu objevují termíny v češtině dosud nepoužité, případně s nově vymezeným obsahem, předkládám je jako návrh. Pokud jde o označování prvků na rostlině, rozlišuji obecnou vlastnost (např. chlupatost, postavení listů) a její speciální stav, znak (např. chlupy dvouramenné, listy vstřížené); to se i v odborném textu často směšuje. Určovaný objekt označuji názvem položka, a může to být jedinec, herbářová nebo sbírková položka s více jedinci, ale i celá lokální populace. Jednotky, ke kterým se má určovaná položka přiřadit, označuji obecně jako klasifikační třídy, a většinou jsou to taxóny různé hodnoty. V samotném klíči označuji jako bod (stupeň) klíče každou fázi, kdy se rozhoduje mezi alternativami dalšího postupu. Souhrn vlastností, používaných k rozlišení v určitém bodě, je sada vlastností. Protikladné sady znaků je možno označit jako podbod (nebo protibod), dvojice protikladných znaků jsou protiznaky.

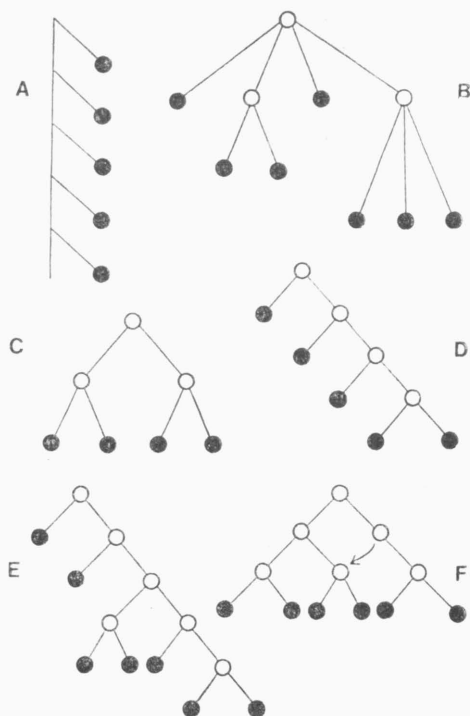
V zásadě lze rozlišit dva odlišné typy klíčů, resp. určovacích pomůcek:

1. pevné (fixní) — určovací postup je dán při jejich sestavení a nelze ho měnit (lineární, polychotomický a dichotomický klíč, jejich grafické formy).
2. pohyblivé (variabilní) — určovacích postupů je větší počet a mohou se volit podle okolností; každý z těchto postupů je možno zachytit jako fixní klíč, takže tyto pomůcky slouží zároveň pro sestavování fixních klíčů (tabulka znaků, synoptický klíč, děrované karty, počítačové programy).

FIXNÍ URČOVACÍ KLÍČE

Nejjednodušší forma fixního klíče je typ, který bychom mohli označit jako lineární. Spočívá v tom, že v každém bodě je uvedena sada znaků,

charakterizující příslušný taxón, v dalším bodě jiná sada charakterizuje jiný taxón atd. až do vyčerpání celého souboru tříd (obr. 1A). Tento typ si lze představit jako „kryptodichotomický“, kde protibody „b“ — rostliny jiných vlastností — jsou zamlčeny. Tento způsob se používal ve starších botanických dílech, i předlinéjských. V používání je značně těžkopádný a v novější době se objevuje ojediněle. Např. ho užívají PALMER et PITTMAN (1972) pro



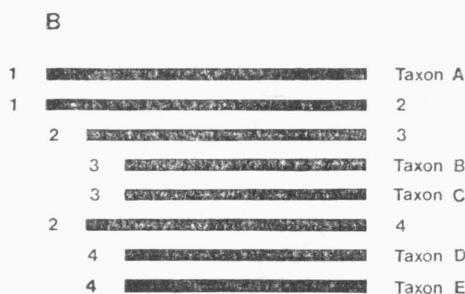
Obr. 1. — Schematické znázornění typů klíčů: A — lineární, B — polychotomický, C — F dichotomický: C — s dělicím („krátkým“) postupem, D — s vylučovacím („dlouhým“) postupem, E — s kombinovaným postupem, F — se „zpětnou vazbou“.

jihoafrické dřeviny, modifikovaného lineárního klíče pro kvetoucí rostliny Velké Británie MC CLINTOCK et FITTER (1956), zřejmě s předpokladem, že pro laika bude srozumitelnější.

Polychotomické klíče vyžadují v jednotlivých bodech rozhodování mezi více možnostmi než dvěma (obr. 1B). Polychotomický princip odporuje logické zásadě teze a antiteze, je nepřehledný a při rozhodování zdoluhavější a měl by být zcela vymýcen z konstrukce klíčů. Jisté oprávnění by snad mohl mít při rozčleňování větších souborů na skupiny, a to tam, kde protiznaky jsou velmi snadno a přesně rozlišitelné (např. počet klíčních apertur při určování pylových zrn). Každý polychotomický klíč se dá s většími či menšími obtížemi převést na dichotomický. Povahu polychotomického určovacího klíče má vlastně také linéjská sexuální soustava, zvláště pokud je v některých dílech předrazen přehled (tabulka) hlavních skupin, což je vlastně klíč k jejich určení (např. VILLARS 1786).

Teoreticky nejsprávnějším a v praxi nejužívanějším typem klíče je klíč dichotomický; v jednotlivých jeho bodech se rozhoduje mezi dvěma alter-

nativními sadami znaků (obr. 1C—F). Princip dichotomického rozdělování přírodnin se objevuje už u Aristotela a Theofrasta (podrobněji o historii klíčů Voss 1952); nemělo zde však účel determinační, nýbrž klasifikační; také forma je větná. Forma analytického klíče se objevuje až u botaniků 17. století — Raye, Morisona a Rivina. Jednotlivé protibody jsou na stejné zarážce, spojeny závorkou (bez čísel a symbolů). Také tyto klíče však nebyly



Obr. 2. — Schematické znázornění forem dichotomického klíče: A — sdužená, B — zarážková.

konstruovány k určování, představují grafické znázornění klasifikace. Staří autoři je označují jako „tabula“; zde má zřejmě původ název „určovací tabulky“, používaný pro klíče ještě v našem století. Další úpravou této formy vznikl zarážkový klíč, jak o něm bude zmínka dále. Určovací dichotomické klíče, odpovídající současné funkci, použil poprvé LAMARCK (1778); od něj také pochází první teoretické pojednání o klíčích a jejich sestavování, obsažené v úvodní části citovaného díla. Formu současného sduženého klíče užívá DeCANDOLLE ve 3. vydání téhož díla (1805).

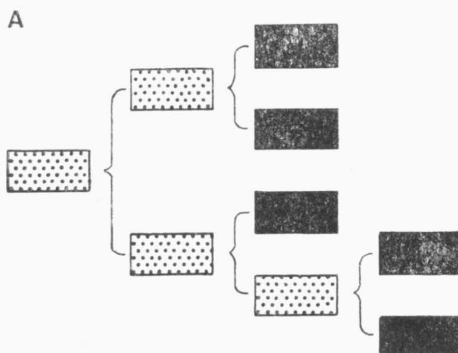
Tištěné dichotomické (nebo polychotomické) klíče mohou mít dvě formy (někdy používané i v kombinaci): zarážkovou a sduženou (oba termíny jsem vytvořil pro potřebu tohoto pojednání). U zarážkového klíče (v angličtině „indented key“ — obr. 2B) je odpovídající protibod uveden až po vyčerpání celého obsahu prvního; oba protibody jsou umístěny na stejnou zarážku a zpravidla označeny stejným symbolem. Další dvojice protibodů je odsazena vždy o stejnou vzdálenost (např. algologické práce, publikované v posledních letech v časopisu *Preslia* — FORT, KOMÁREK). U sduženého klíče („bracketed key“ — obr. 2A) jsou oba protibody u sebe a začínají od levého okraje tiskového zrcadla. Jsou označeny stejným symbolem, při čemž druhý

VII. GENTIANA.

- 1 } Calyce spathaceo, membranaceo 2
 1 } Calyce tubuloso, ut plurimum herbaceo 3
 2 } Corolla rotata, fundo glandulis 5-6 *lutea* L. (?)
 2 } Corolla campanulata, glandulis 6 *purpurea* L.
 3 } Cor. campanulata; antheris connatis 4
 3 } Cor. tubulata aut hypocrat. ; antheris liberis 9
 4 } Floribus verticillatis 5
 4 } Floribus solitariis 6
 5 } Lacin. cal. tubo longior.; ovario pedicellato *pannonica* Jacq.
 5 } Lacin. cal. tubo breviorib.; ovario sessili... *punctata* L. (?)
 6 } Cor. limbo 5-fido; dentibus acutis inter limbi lacinias... 7
 6 } Cor. limbo 5-fido; lacinii integerrimis... *asclepiadea* L.
 7 } Flor. axillaribus terminalibusque 8
 7 } Flor. unico terminali, longitudine caulis vel
 longiore *acaulis* L.
 8 } Foliis sparsis; flor. pedunculatis *Pneumonanthe* L.
 8 } Fol. infer. fasciculatis; flor. sessilibus. β . *adscendens* Schm.
 9 } Corolla fauce nuda 10
 9 } Cor. fauce squamis capillaceo-multifidis cincta 16
 10 } Corolla 4-5-fida; lacinii integris; glandulis 6 12
 10 } Cor. 4-fida; lacinii fimbriato-dentatis; gland.
 4 in fundo corollae 11
 11 } Lacinii corollae fimbriatis *ciliata* L.
 11 } Lacinii corollae utrinque 2-dentatis β . *dentosa* Schm.
 12 } Floribus verticillatis; foliis decussatis *cruciata* L.
 12 } Floribus solitariis; fol. non decussatis 15
 13 } Corolla infundibulif.; calyc. carinato-alatis.. *utriculosa* L.
 13 } Corolla hypocraterif.; calyc. non alatis 14
 14 } Fol. acutiusculis, radic. caulinis majoribus, patentibus .. 15
 14 } Fol. obtusis, radic. caulin. minorib., imbricatis. *bavarica* L.
 15 } Auriculis cor. rotundatis; stigm. orbiculari plano.. *verna* L.
 15 } Auriculis cor. acutis; stigmat. scyphiformi,
 serrulato *aestiva* Schm.
 16 } Lacinii calycis subaequalibus 13
 16 } Lacinii calyc. duabus multo majoribus 17

z protibodů má symbol nějak odlišen (písmenem „b“, hvězdičkou, zdvojením, apostrofem). Často je opakování symbolu nahrazeno pouhou pomlčkou.

Výhodou zarážkového klíče podle autorů, zastávajících tento způsob, je možnost vizuálně obsáhnout celou následující skupinu a vůbec určovací situaci. To platí pouze o méně rozsáhlých klíčích; výhoda se ztrácí, jakmile klíč přesáhne jednu stranu, resp. dvě protilehlé strany. Zvláště pro rozsáhlé



B

	a	a	a	
	b	b	b	
	a	a	a	
	b	b	b	

Obr. 4. — Schematické znázornění grafických forem klíče: A — dichotomické schéma, B — dělená tabulka.

klíče, obsahující třeba několik desítek taxónů a zabírající několik stran, je tento způsob zcela nevyhovující (obtížné hledání protibodu — lze poněkud usnadnit odkazem na stránku, ubývání místa pro text). Příklady takových obtížně fungujících klíčů jsou klíče k určení čeledí v díle *Flora Europaea* nebo zvláště v *Parreyově zahradnické encyklopedii* (ENCKE 1961). V knihách menšího formátu jsou autoři nuceni upustit od postupného odsazování zarážek a vrátit se k levému okraji zrcadla (např. OBERDORFER 1962).

Ačkoliv je užívání toho nebo onoho typu více méně věcí zvyku a tradice, doporučoval bych dávat přednost sdružené formě. Je univerzálnější (vyhoví jak pro malý, tak pro neomezený počet taxónů) a nemá ostatní nevýhody zarážkového klíče. Ztráta přehlednosti není tak významná, účelem klíče je určování a ne synoptický přehled. K lepší orientaci a zpětné kontrole přispívají u rozsáhlejších sdružených klíčů zpětné odkazy na vzdálenější předechozí body. V našich botanických klíčích, alespoň pokud jde o vyšší rostliny, se používá téměř výhradně sdružené formy klíče už od 19. století (KOSTE-

LETZKY 1824 — obr. 3, SLOBODA 1852). Ve světové literatuře jsou oba typy zastoupeny více méně rovnoměrně, zdá se, že v anglosaské a západoevropské literatuře převládá způsob zarážkový, ve středo- a východoevropské literatuře způsob sdružený.

K formální stránce klíče ať toho nebo onoho typu patří ještě symboly, označující jednotlivé body. Mohou to být číslice arabské nebo římské, písmena velká nebo malá, nebo různé typografické znaky (hvězdičky, křížky, paragrafy apod.), také zdvojené a ztrojené. I když je to také věc zvyku a konvence, zdá se, že pro svou univerzálnost, neomezenou řadu a automatický jednoznačný sled jsou pro tento účel nejvhodnější arabské číslice.

Předpokladem pro úspěšnou funkci klíče je samozřejmě terminologická srozumitelnost a jednoznačnost. Větší klíče mívají proto samostatný terminologický slovníček nebo přehled. Pokud tomu tak není, bylo by vhodné odvolat se na nějaké dostupné dílo, které morfologické termíny definuje a v jehož smyslu se užívají. Nenahraditelným doplňkem, který velmi usnadňuje užívání klíče, je vyobrazení důležitých rozlišovacích znaků (př. ROTHMALER 1972, SCHMELT et FITSCHEN 1958 a dřívější vydání).

Přehledný grafický klíč je možný buď ve formě dichotomického schématu s příslušným textem, příp. vyobrazením nebo jako dělená tabulka (obr. 4). Dělená tabulka může mít i kruhovou formu, kde každému bodu odpovídá mezikruží; postupuje se od středu kruhu ven (MAYR et al. 1953). Tyto způsoby jsou použitelné jen pro menší počet určovacích tříd, neboť jsou omezeny velikostí plochy na tiskové straně.

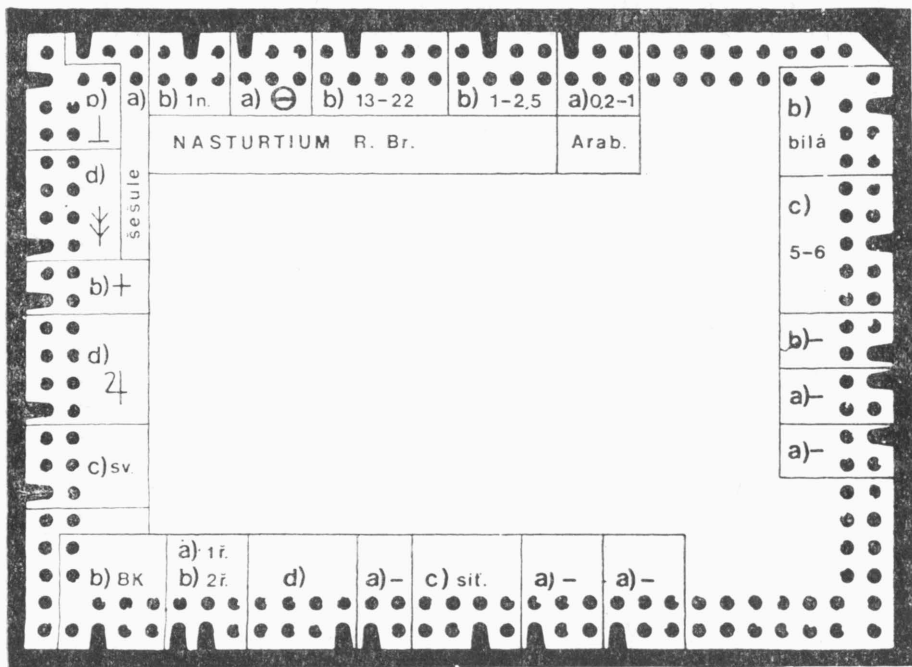
VARIABILNÍ URČOVACÍ KLÍČE

V některých pracích jsou označovány jako „polyclaves“ (MORSE 1971, PANKHURST 1974) nebo „synoptické klíče“ (LEENHOUTS 1966). Patří sem především tabulky znaků (tabulkové přehledy) — např. ZELENÝ 1972. V nich jsou v jednom směru uvedeny taxóny (třídy), v kolmém směru vybrané vlastnosti a v příslušném políčku odpovídající znak. Určování se provádí procházením všech nebo jen některých znaků a vylučováním těch druhů, které neodpovídají určované položce. Tento postup je zdoluhavý a je použitelný jen při malém počtu tříd. Tabulka znaků se dobře hodí (nebo je jedinou možností) tam, kde difference jsou málo zřetelné nebo kde chybí diakritické znaky v pravém slovu smyslu, tzn. je nutno určovat podle souboru znaků. Z praktických důvodů je lépe, pokud je to možné, sestavit z tabulky fixní klíč.

Modifikací znakové tabulky je Balkovského číslicový polytomický klíč (BALKOVSKIJ 1960), což je tabulka, kde jednotlivé vlastnosti a znaky jsou převedeny na písmenové a číslicové symboly; určovaná položka obdrží kódovaný symbol a její příslušnost k taxónu se vyhledá srovnáním s jeho symbolem.

Z obdobných principů vychází také tzv. synoptický klíč (LEENHOUTS 1966, KORF 1972). Postupuje podle vlastností a znaků, při čemž u každého znaku jsou uvedeny druhy (čísla druhů), u nichž je znak přítomen. Eliminacním způsobem — procházením dostupných znaků — se dojde k určení taxónu. Tento způsob má všechny výhody variabilních klíčů, není omezen rozsahem souboru a při tom odpadají obtíže při publikaci tiskem. Pracovné je výhodný tím, že v průběhu jeho konstrukce lze podle potřeby přidávat znaky i taxóny. V použití se zdá zdoluhavější než dichotomické klíče a při větším počtu vlastností a znaků je v něm dosti obtížná orientace.

Systémy děrovaných karet jsou pro určování velmi vhodné; jejich nevýhodou je technicky obtížná publikace tiskem. Dosud se používají pouze karty perforované na okraji; použití děrných štítků by pro relativně malý počet určovacích tříd nebylo rentabilní.



Obr. 5. — Děrovaná karta pro určování a sestavování klíče rodů čeledi *Brassicaceae*.

Nejužívanější systém spočívá v tom, že se pro daný soubor taxónů sestaví výběr taxonomicky důležitých vlastností a znaků a těm se vymezí poloha na kartě s okrajovou perforací; přítomnost znaků se vyznačí prostrčením (obr. 5). Každému taxónu přísluší jedna karta. Jednoduchou operací — prostrčením jehly — se vyčlení všechny taxóny, které mají znak shodný s určenou položkou. Postupným probíráním vlastností se dospěje k odpovídajícímu taxónu. Také zde je výhodou, že můžeme postupovat podle přítomných (dostupných) znaků. Pro pracnost přenášení údajů na karty je metoda rentabilní až při větším počtu tříd. Jako příklady publikovaného použití takového systému lze uvést: CLARKE 1938 — severoamerické dřeviny, KUZMANOV 1968 — rod *Genista* v Bulharsku, DIETRICH 1968 — pylová zrna *Plantaginaceae*.

Opačný systém děrovaných karet (window key, MORSE 1971) — pro každý znak (nikoliv vlastnost) karta, pro každý taxón pozice pro perforaci — použili např. HANSEN et RAHN (1969) v listkovém klíči k určení čeledi. Přítomnost znaku v čeledi je vyznačena perforací v pozici čeledi. Vybírají se postupně karty znaků, přítomných na určené položce. Správná čeleď je pak určena tím, že celý sloupec vybraných znakových karet má v její pozici úplný průhled.

Využití počítačů pro určování biologických objektů (jakož i pro konstrukci klíčů) je rozpracováno teprve v posledních letech. Limitujícím faktorem je zde (stejně jako při využívání počítačů v taxonomii vůbec) získávání vstupních dat tradičním způsobem, tj. pozorováním a popisováním určené položky člověkem. Automatizované získávání vstupních dat je možné zatím jen pro nejjednodušší tvary a údaje. Metody samotné jsou ještě ve vývoji a pro svou náročnost odbornou i finanční mají ještě daleko k tomu, aby se s nimi dalo počítat v běžné taxonomické praxi. Úvahy o miniaturizovaných počítačích, sloužících k determinaci v terénu, patří zatím do oblasti science fiction. Přesto pokládám za nutné zahrnout do přehledu určovacích pomůcek i tyto metody.

Na základě informací, obsažených v několika shrnujících pracích (HALL 1970, MORSE 1971, PANKHURST 1974 — tam též další literatura) lze rozlišit tyto hlavní typy určování pomocí počítačů:

a) jednosměrný určovací program, kdy se určování provádí systémem otázka — odpověď počítače; tento způsob je vlastně fixní klíč (nepatří do skupiny mobilních klíčů) a nepřináší žádný výrazný pokrok proti určování konvenčním tištěným klíčem.

b) srovnávací metoda, kdy se kalkuluje míra podobnosti mezi určovanou položkou a členy srovnávací matrice v paměti počítače; tím se dospěje k určení.

c) skutečná „polyklávová“ metoda, kdy výchozím stupněm je sada libovolných (tj. ve skutečnosti prakticky dostupných) znaků, a počítač na základě vloženého programu vlastně vytváří klíč pro určovanou položku a dospívá k její determinaci.

ZÁSADY SESTAVOVÁNÍ URČOVACÍCH KLÍČŮ

Nejdříve je třeba si ujasnit, jaké jsou požadavky na určovací klíč a jaké tedy má mít vlastnosti. Obecně a stručně řečeno, má poskytnout nejjednodušší cestu k určení neznámé položky s nejmenším rizikem omylu. Byly publikovány pokusy, určit optimální konstrukci klíče matematicky (OSBORNE 1963, JIČÍN, PILOUS et VAŠÍČEK 1969). Zavádějí matematický pojem efektivnosti klíče a docházejí k závěru, že nejefektivnější konstrukce je taková, která vyžaduje nejmenší počet rozhodování v uzlových bodech pro přiřazení položky ke třídě. Jinak řečeno, která dělí soubor v daném bodě klíče vždy ve dvě více méně stejné části. Tento princip platí za předpokladu stejné možnosti omylu ve všech bodech; dále předpokládá stejnou dostupnost znaků. Tak tomu ale ve skutečnosti není. Rozlišovací znaky jsou jednak různé ostře protikladné, a tedy s různou možností omylu (tyčinky 3 — tyčinek 5; nebo: semeník svrchní — semeník spodní nebo polospodní), jednak jsou nesterjné dostupné (listy jednoduché — složené; nebo chlupy dvouramenné — tří- a víceraamenné). Pozoruhodné je, že jiná novější práce (BENDOVÁ 1973) na základě matematické kalkulace popírá, že by dělení souboru na stejné části bylo pro konstrukci klíče optimální.

Vůbec se zdá, že tento přístup, kdy se od klíče vyžaduje maximální efektivnost jako jediné kritérium jeho kvality, není správný. Z praxe víme, že největší obtíže, a tedy i ztráty na produktivitě určování a případné chyby, vznikají při určování nekompletního a málo kvalitního materiálu. Je třeba vyžadovat od klíče ve stejné míře jako efektivnost i co největší univerzálnost. Tím se rozumí, aby klíč umožňoval správné určení i v tom případě, kdy určovaná položka není ideální.

Způsob postupu v klíči může být buď „krátký“ (tak jej označuje OSBORNE 1963, lépe snad dělicí), kdy soubor klasifikačních tříd je v jednotlivých bodech rozdělován na přibližně stejné části (obr. 1C) nebo „dlouhý“ (lépe postupný nebo vylučovací), kdy se v každém bodě odliší od zbytku souboru jedna třída (obr. 1D). V prvním případě vede ke každé třídě více méně stejně dlouhá cesta, ve druhém je ke každé třídě potřebí projít různý počet bodů, při čemž pro určení poslední třídy je nutno projít celý klíč.

Použití obou těchto způsobů by mělo být určeno okolnostmi, nejčastěji v kombinaci obou: ty třídy, které se výrazně a ve více snadno dostupných vlastnostech odlišují od ostatních tříd, je nejlépe vyčlenit vylučovacím způ-

sobem; ostatní potom zpracovat dělicím způsobem. Pokud nejsou v souboru třídy takto odlišné, je výhodnější postupovat od začátku dělicím způsobem (ve shodě s propočty efektivnosti). V praxi je ale někdy volba těchto způsobů ovlivňována znaky, které máme k dispozici. Někdy nelze v určité fázi klíče nalézt takovou vlastnost (tím méně sadu vlastností), která by soubor dělila rovnoměrně; pak je nutno volit vylučovací formu, při čemž antiteze je vyjádřena jako „rostliny jiných vlastností“. Tento postup by však měl být omezen na nejnutnější případy. Při použití vylučovacího způsobu (dlouhého) nebo vůbec při dělení souboru na dvě nestejně části je obvyklé, aby menší část souboru předcházela větší.

Výběr vlastností, resp. znaků musí být úměrný určení klíče. V určovacích klíčích obecného použití by měly být používány dostupné znaky, maximálně s použitím lupy. Ve speciálních klíčích v monografických zpracováních by naopak měly být využity veškeré k rozlišení použitelné znaky.

Pro univerzálnost klíče je optimální, aby v každém bodě byla sada vlastností rozložena tak, aby zachycovala různé orgány a fáze vývoje rostliny. Pokud to není možné (to bývá hlavně v počátečních bodech klíče), musí postačit jedna rozlišovací vlastnost; nikdy by to však nemělo být jako princip.

Jednou ze základních zásad sestavování dichotomických klíčů je zachování protiznaků (přítomnost v obou podbodech). Tento princip je často porušován, což ztěžuje určování podle takových klíčů. Někdy k tomu svádí snaha, zachytit stav vlastnosti, která figuruje v následujících bodech.

Smyslený příklad:

1. a. Rostliny jednoleté, plod tobolka, *květy žluté* — taxón A.
1. b. Rostliny vytrvalé, plod nažka — 2.
2. a. Květy modré — taxón B.
2. b. Květy žluté — taxón C.

Odůvodněné je uvedení doplňkových znaků tam, kde nenásleduje podrobnější popis. V každém případě je vhodné uvést tyto nepárové (nediakritické) znaky zvlášť — na konci, příp. typograficky odlišit.

Znaky se mají úplně a nepochybně vylučovat. To je v plné míře splnitelné u vzdálenějších — dobře odlišných taxónů. V kritických skupinách však někdy musíme připustit určitou toleranci ve vzájemném vylučování, která se kompenzuje srovnáním celé sady znaků. Nevhodné jsou mlhavé, nekonkrétní termíny (velký — malý, široký — úzký apod.), ty je třeba vyjádřit kvantitativně. Není-li možné u kvantitativních znaků uvést vylučující se hodnoty v celém rozpětí, je možné použít rozpětí průměrů (průměrně od — do) nebo vyloučit extrémní málo frekventované hodnoty: (8—) 10—15 (—18) mm nebo: nejčastěji od 10 do 15 mm. Tak je možné zachytit a v klíči využít tzv. znakové tendence. Předpokládá to ovšem mít k dispozici pro determinaci bohatší materiál. Zásadně se v klíčích nemá užívat relativních znaků (širší než u předešlého druhu), protože ty jsou při určování bez srovnávacího materiálu nepoužitelné. Pokud je to možné, měla by se dávat přednost těm znakům, které obsahují maximální množství informace, tj. jsou v korelaci s dalšími znaky (ty se pak nemusí uvádět, pokud nejsou potřebné pro zvětšení univerzálnosti klíče).

Řazení znaků v sadách nemá být náhodné; může sledovat buďto řazení v popisech (podle orgánů) nebo jsou znaky řazeny sestupně podle diakritické závažnosti. Jako praktické formální doporučení lze uvést, aby oba podbody začínaly stejným slovem a naopak aby za sebou následující body nezačínaly stejným slovem.

K univerzálnosti klíče přispívá také způsob, že ke správnému určení je možno dospět dvěma nebo více cestami (prakticky se projeví buď uvedením taxónu na dvou místech nebo zpětným odkazem viz 28. b. (obr. 1F). Jedním z důvodů pro použití tohoto způsobu je značná pravděpodobnost omylu při rozhodování v příslušné vlastnosti, zvláště u méně zkušených uživatelů klíče (např. zařazení širokolistých jednoděložných — *Paris*, *Arum* — také do klíče dvouděložných). Jindy je sporná morfologická interpretace diakritického znaku (např. okvěti u některých rostlin) nebo není z vnějšího vzhledu patrná (např. pseudosynkarpické gyneceum u čeledi *Nymphaeaceae*). Všude tam je dvojitě zařazení do klíče vhodné a účelné. Někdy však je použití tohoto způsobu nutné; to je tehdy, když příslušný taxón obsahuje jednotky, které mají oba diakritické znaky. Teoreticky by takové vlastnosti neměly být jako rozlišovací používány, ale někdy je to nutné pro nedostatek vhodnějších.

Jiný způsob využití neúplně diakritického znaku je možný v tom případě, že se jeden taxón odchyluje v jednom ze sady znaků; pak se uvede jako výjimka.

Příklad z klíče k určení rodů čeledi *Brassicaceae*:

9. a. Korunní plátky nejvýše 2,5 mm dlouhé, často zakrnělé, mediální nektaria vytvořena; semena v pouzdře vždy po 1, po navlhčení neslizovatí, zárodek hřbetokořený — *Lepidium* L.
9. b. Korunní plátky 2–7 mm dlouhé, mediální nektaria chybějí; v každém pouzdře 2 nebo více semen (jen u *Thlaspi montanum* 1), která po navlhčení slizovatí, zárodek bokořenný — *Thlaspi* L.

Obdobně lze kompenzovat neúplnou diakritičnost znaku vazbou na jiný znak (obrat „jestliže..., pak...“).

Příklad z klíče k určení čeledi vyšších rostlin:

6. a. Koruny všech nebo alespoň středních květů trubkovité; pokud jsou obvodové květy jazykovité, pak je jazyk na konci trojzubý — *Asteraceae* s. str.
6. b. Koruny všech květů jazykovité, jazyk je na konci pětizubý — *Cichoriaceae*.

TECHNIKA SESTAVOVÁNÍ URČOVACÍCH KLÍČŮ

Elementárním způsobem konstrukce klíče bez použití dalších pomůcek je výběr diakritických znaků a postupů určování po globálním přehlédnutí celého materiálu, soustředěného zpravidla ve formě popisu taxónů. Při tom je obvykle nutné vypracovat více variant; ty je výhodné znázorňovat dichotomickými schématy buď v psané formě nebo s použitím magnetické tabule. Poněkud exaktnější je postup, kdy vycházíme z tabulky znaků, na níž lze lépe přehlédnout rozložení znaků a možnosti rozlišení. Oba způsoby jsou s úspěchem použitelné jen při menších souborech. Větší soubory je možno rozdělit podle evidentních znaků nebo podřazených taxonomických jednotek, a jednotlivé části souboru pak dále zpracovávat.

Pro rozsáhlejší soubory lze také s výhodou použít soustavy děrovaných karet (obr. 5); podle mých zkušeností je metoda rentabilní pro alespoň 20 tříd (taxónů). Několika jednoduchými operacemi lze vytvořit různé varianty klíče a ověřit diakritickou sílu znaků (tj. dokáží-li rozdělit celý soubor na dvě části beze zbytků či nikoliv a jak velký je zbytek). Práce s takovým systémem karet je velmi snadná a rychlá, nevýhodou je pracné pořizování základních karet.

V posledních letech je stále více propracováváno sestavování klíčů pomocí počítačů (MORSE et al. 1968, HALL 1970, PANKHURST 1974, tam další literatura). I když tato metoda není zatím běžně používána ani použitelná, mám za to, že je velmi perspektivní, zvláště ve spojení s jiným využitím počítačů v taxonomické práci (klasifikování, ukládání dat).

Programy pro konstrukci určovacích klíčů dodržují zásady formování klíčů, vytyčené v předchozích odstavcích; je to především důsledná dichotomie, dále vzájemné vylučování protiznaků a jednoznačné vyjádření znaků. Některé jsou konstruovány tak, aby dovolovaly dodání dalších dat, event. dodatečné rozšíření o další taxóny. Jejich pracovním principem je, že v každém bodě klíče provádějí velký počet zkoušek pro vhodnost rozlišovacího znaku. Tuto vhodnost lze vyjádřit i kvantitativním faktorem. Zdokonalené programy provádějí tyto zkoušky i pro kombinaci nejprve dvou a podle potřeby i tří znaků. Dokáží též respektovat různou, číselně vyjádřenou dostupnost znaků, při čemž znaky pod určitý práh dostupnosti automaticky vylučují. V zásadě vycházejí z principu maximální efektivity dělicích („krátkých“) klíčů. Mohou ale zvýhodnit častěji očekávané třídy (tj. běžné taxóny) tak, aby k nim vedla kratší cesta. Výsledné klíče tiskne počítač buď ve sružené nebo v zarážkové formě. V praxi byla konstrukce klíčů pomocí počítače nejvíce využita v projektu flóry Severní Ameriky (MORSE et al. 1968). Zmíněné programy jsou ve vývoji a někdy mohou dávat horší výsledky než tradiční způsoby konstrukce klíčů. Největší obtíž je v tom, že základní taxonomická vstupní data nesplňují potřebné požadavky (vylučování znaků, jednoznačné definování stavů atd.); s tímto obtížemi se lidský mozek vyrovnává s větším úspěchem než počítač.

GILMARTIN (1974) srovnává dva způsoby sestavování klíčů: „ruční“, bez použití pomůcek, a s pomocí počítače. Dochází k závěru, že obě metody jsou více méně stejně náročné na celkový čas, nutný k sestavení klíče. Výhodou počítačové konstrukce je možnost rychlého sestavení několika variant klíče, nevýhodou odborná náročnost a velké náklady. Výhodou „ruční“ konstrukce, která vyrovnává výhody počítačového zpracování, je především metodická nenáročnost. Zdá se, že pro běžné podmínky v rostlinné taxonomii je zatím nejvhodnější metodou spojení globálního výběru znaků s použitím znakových tabulek a případně děrovaných karet.

LITERATURA

- BALKOVSKIJ B. E. (1960): Cifrovoy politimičeskij ključ dlja opredelenija rastenij. — Bot. Žurnal, Moskva—Leningrad, 45 : 64—70.
- BENDOVÁ K. (1973): Contributions to automatic construction and optimisation of identification keys. — Kybernetika, Praha, 9 : 483—507.
- BREMERKAMP C. E. D. (1970): How to write a monograph of phanerogamic taxon. — Belmontia, Wageningen, Ser. IV. Incidental, 13 : 65—80.
- CLARKE S. H. (1938): A multiple-entry perforated key with special reference to the identification of hardwoods. — New Phytol., Cambridge, 37 : 369—374.
- DAVIS P. H. et V. H. HEYWOOD (1963): Principles of angiosperm taxonomy. — Edinburgh—London.
- DIETRICH H. (1968): Pollenbestimmungsschlüssel mitteleuropäischer Plantaginaceae. — Wiss. Zeitschr. F.-Schiller-Univ. Jena, Ser. math. — nat., 17 : 359—361.
- ENCKE F. [ed.] (1961): Pareys Blumengärtnerei. Index. — Berlin.
- GILMARTIN A. J. (1974): Constructing keys for identification. — Amer. Journ. Bot., Columbus, Ohio, 61/5, Suppl.: 70.
- HALL A. V. (1970): A computer-based system for forming identification keys. — Taxon, Utrecht, 19 : 12—17.
- HAŇKA S., D. BULLOVÁ, S. HORÁK, O. O. STRUMHAUS et F. VILČEK (1967): Přírodopis pro sedmý ročník základních devítiletých škol. Ed. 4. — Praha.
- HANSEN B. et K. RAHN (1969): Determination of angiosperm families by means of punched-card system. — Dansk Bot. Arkiv, København, 26/1.
- HARRINGTON H. D. et L. W. DURREL (1957): How to identify plants. — Chicago.
- JICÍN R., Z. PILOUS et Z. VAŠIČEK (1969): Grundlagen einer formalen Methode zur Zusammenstellung und Bewertung von Bestimmungsschlüsseln. — Preslia, Praha, 41 : 71—85.
- KORF R. P. (1972): Synoptic key to the genera of the Pezizales. — Mycologia, Lancaster, Pa., 64 : 937—994.
- KOSTELETSKY V. F. (1824): Clavis analytica in Floram Bohemiae. — Pragae.
- KUZMANOV B. A. (1968): Perfokartoni za sastavjane opredelitelni tablici i opredeljane na taxoni. — Izvestija Bot. Inst. BAN, Sofia, 18 : 179—184.
- LAMARCK J. B. P. (1778): Flore françoise. Vol. 1. — Paris.
- LAWRENCE G. H. W. (1951): Taxonomy of vascular plants. — New York.
- LEENHOUTS P. W. (1966): Keys in biology. — Proc. Kon. Nederl. Akad. Wetensch., Amsterdam, Sect. C. 69 : 571—596.
- MCCLINTOCK D. et R. S. R. FITTER (1956): The pocket guide to wild flowers. — London.
- MAYR E., E. G. LINSLEY et R. L. USINGER (1953): Methods and principles of systematic zoology. — New York—Toronto—London.

- METCALF Z. P. (1952): The construction of keys. — *System. Zoology*, Washington, 3 : 38—45.
- MORSE L. E. (1971): Specimen identification and key construction with time-sharing computers. — *Taxon*, Utrecht, 20 : 269—282.
- MORSE L. E., J. H. BEAMAN et S. G. SHETLER (1968): A computer system for editing diagnostic keys for Flora North America. — *Taxon*, Utrecht, 17 : 479—483.
- OBERDORFER E. (1962): *Pflanzensoziologische Exkursionsflora*. Ed. 2. — Stuttgart.
- OSBORNE D. V. (1963): Some aspects of the theory of dichotomous keys. — *New Phytol.*, Oxford, 62 : 144—160.
- PALMER E. et N. PITMAN (1972): *Trees of Southern Africa*. — Cape Town.
- PANKHURST R. J. (1974): Automated identification in systematics. — *Taxon*, Utrecht, 23 : 45—51.
- ROTHMALER W. (1955): *Allgemeine Taxonomie und Chorologie der Pflanzen*. Ed. 2. — Jena.
- ROTHMALER W. (H. MEUSEL et R. SCHUBERT) (1972): *Exkursionsflora für die Gebiete der DDR und BRD*. — Berlin.
- SCHMEIL O. et J. FITSCHEN (1958): *Flora von Deutschland*. Ed. 67/68. — Jena.
- SLOBODA D. (1852): *Rostlinnictví*. — Praha.
- STUCHLIK L. (1967): Pollen morphology in the Polemoniaceae. — *Grana Palynol.*, Stockholm, 7 : 146—240.
- VILLARS D. (1786): *Histoire des plantes de Dauphiné*. Tom. 1. — Grenoble.
- VOSS E. G. (1952): The history of keys and phylogenetic trees in systematic biology. — *Journ. Sci. Lab. Denison Univ.*, Granville, Ohio, 43 : 1—25.
- ZELENÝ V. (1972): Komplex *Leucanthemum vulgare* v Československu. — *Zpr. Čs. Bot. Společ.*, Praha, 7 : 1—19.

Došlo 2. září 1975

Recenzenti: Z. Pilous, Z. Černohorský