

BIOMETRICKÉ A BIOMATEMATICKÉ METÓDY VO VEDE A VÝSKUME

Pavel Flák, SR

Abstrakt

Predmetom našej práce je krátky historický prehľad rozvoja biometriky v Českej a Slovenskej republike, úlohy komisií biometriky v našich zemiach, história a úlohy letných škôl biometriky, súčasný stav využívania matematických a štatistických metód v biológii a pôdohospodárskom výskume a krátky náčrt budúceho rozvoja biometrických a biomatematických metód, ktoré sú podstatnými pre budúci pokrok biologických vied. Praktické aplikácie diskutovaných metód vo vede a výskume nemožno realizovať bez veľmi dobrých základov matematických znalostí a princípov.

Kľúčové slová: história, biometrika, biometrické spoločnosti/komisie, letné školy biometriky, biologické a pôdohospodárske vedy, úlohy biometriky vo vede a výskume.

Úvod

V biológii a samozrejme tiež v poľnohospodárstve analyzujeme biologické systémy vyznačujúce sa svojou vnútornou zložitosťou, väzbami k vonkajšiemu prostrediu, z hľadiska poznania vcelku nezvládnuteľné bez ich dôkladnej analýzy a syntézy získaných parciálnych poznatkov do aplikovateľnej formy pre využitie v praxi, čo nevyhnutne vyžaduje tvorbu modelov biologických systémov, jednoduchých *lineárnych* aj *nelineárnych modelov*, ktorých riešenie nie je možné bez zodpovedajúcich *moderných matematických metód* v biológii aplikovaných matematicko-štatistických metód známych pod pojmami *bioštatistika* ale najmä *biometria* (biometry; Fisher, 1948). Termíny *Biometrics* (biometrika, nie časopis Biometrika) a *Biometry* (biometria) sú podľa *International Biometric Society (IBS)* používané už od počiatku 20 - tého storočia pre odbor/oblasť rozvoja štatistických a matematických metód aplikovaných na problémy analýzy údajov v biologických vedách. Pojem biometrických údajov bol a je tiež v súčasnosti používaný pre technológie identifikácie indivíduí/osôb pomocou biologických charakteristík (napr. sietnice a dúhovky oka, odtlačkov prstov, či obrazu tváre). Dnes sa pod biologickou štatistikou myslí bioštatistika alebo biometria, pričom pojmy biometrika/biometria sa viacmenej používajú v biologických a pôdohospodárskych aplikáciách, zatiaľ čo bioštatistika pre medicínske aplikácie.

Základnými pojmami základov biometriky boli podľa Fishera (1948) koncepty *rozdelenia početností* ako aj hľadanie miery/merítka *centrálnej tendencie*, ktoré viedli k interpretácii *štatistických odhadov*. Poznanie charakteristík biologickej premenlivosti sú preto základnými pri sledovaní biologických javov a procesov a tie nemožno získať bez adekvátnych *plánov pokusov*, získavania *experimentálnych pozorovaní*, ich detailných analýz, interpretácie získaných poznatkov v syntetizujúce závery.

Krátky historický prehľad

Podľa R. A. Fishera (1948) pionierom analýz biologických javov a procesov po znovuobjavení *Mendelových zákonov* bol zrejme Galton (1869, 1889), ktorý ako prvý v 19. storočí položil základy ich poznania pomocou kvantitatívnych metód. Ďalším pokračovateľom bol pravdepodobne Darwin (1859, 1910) s jeho teóriou evolúcie, ktorá vychádzala z premenlivosti druhov. Je potrebné tiež spomenúť základnú prácu Gregora Mendela (1909), Hardyho (1908), práce Pearsona (1898) a Weldona (1902), ako aj

mendelistov akými boli Davenport (1904), Bateson (1900, 1913) a Johanssen (1909). Zakladateľom moderných biometrických metód je samozrejme Sir Ronald A. Fisher (1912) so svojou prácou *Statistical Methods for Research Workers* (1924) a knihou *The Genetical Theory of Natural Selection* (1930), ďalej Wright (1918, 1921, 1923), ktorý použil štatistické metódy v modernej populačnej genetike, či Haldane (1927) so svojou knihou *The Causes of Evolution* (1932). V neposlednej miere pre rozvoj biometriky ako disciplíny kvantitatívnych analýz prispel tiež Thompson D'Arcy so svojou prácou *On Growth and Form* (1917, 1945).

Základnými biometrickými prvotínami využívanými veľmi široko pôdohospodárskou a teda tiež poľnohospodárskou vedecko-výskumnou obcou možno považovať práce R. A. Fisher - *Statistical Methods for Research Workers* (1925 1. vyd., 1970 14. vyd.), *The Design of Experiments* (1935 1. vyd., 1966 8.vyd.), R. A. Fisher a F. Yates - *Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research* (1938 1. vyd., 1948 3.vyd.), G. W. Snedecor - *Analysis of Variance and Covariance* (1936), G. W. Snedecor a W. G. Cochran - *Statistical Methods* (1937 1. vyd., 1980/82 7. vyd.), K. Mather - *Statistical Analysis in Biology*, (1943 1. vyd., 1966 5.vyd.), W. G. Cochran a G. M. Cox - *Experimental Design* (1950 1. vyd., 1957 2. vyd.), O. Kempthorne - *The Design and Analysis of Experiments* (1952), O. Kempthorne, T. A. Bancroft, J. W. Gowen a J. L. Lush - *Statistics and Mathematics in Biology* (1954), R. L. Anderson a T. A. Bancroft - *Statistical Theory for Research* (1952), C. R. Rao - *Advanced Statistical Methods in Biometric Research* (1952) a J. Finney - *An Introduction to Statistical Science in Agriculture* (1953). Ďalšie práce sú uvedené v práci Fláka (2008), pričom z hľadiska stručnosti necitujeme podrobne biometrické knihy mladšieho dáta [8, 34, 58, 60, 61, 63, 64, 69, 75, 76] ako aj špecifické práce z teórie pravdepodobnosti a matematickej štatistiky a genetiky populácií hospodárskych zvierat [38, 39, 40, 54].

Historický pohľad na rozvoj biometrických metód v Česko-Slovensku

Z hľadiska rozvoja štatistických metód, ktoré mali aktívny dopad na rozvoj biometriky v Česko-Slovensku je potrebné spomenúť práce Janko - *Základy štatistickej indukcie* (1937), *Jak vytváří statistika obrazy světa a života* (1948), *Statistické tabulky* (1958), *Teorie pravděpodobnostního výběru s aplikacemi na výběrová šetření* (1960), Janko, Novák a Robek, - *Základy štatistiky* (1950). Ďalej sú to práce Myslivec - *Statistické metódy zemědělského a lesnického vyzkumnictví* (1957) a kolektívu autorov Roth, Josífko, Malý, Trčka - *Statistické metody v experimentální medicíně* (1962). V rámci rozvoja metód genetiky populácií mali veľký vplyv na rozvoj a využitie štatistických metód v biológii práce A. Karakoza, [48], *Základy plemenitby hospodárskych zvierat* (1962) a *O zootechnickom výskumnictve* (1968). Spolupráca Dr. Ing. A. Karakoza s akademikom J. Novákom, profesorom matematiky na Prírodovedeckej fakulte Masarykovej univerzity v Brne, neskorším členom Matematického ústavu v Prahe nesmierne prospela využitiu biometrických metód v Česko-Slovensku. Priekopníkom využívania biometrických metód najmä v poľnom pokusníctve bol zakladateľ Komise pro biometriku a pokusníctví pri komisii predsedníctva ČAZ (1967) pre technickú a metodickú modernizáciu prof. RTDr. Ing. Jan Rod, DrSc. so svojou prvotinou - *Základy početní zpracování polních pokusů* (1952). Z poľných pokusov je to tiež práca Hrubého a Konvičku (1954). Veľmi silný vplyv na rozvoj biometrických metód v poľnohospodárstve mal kolektív pracovníkov Matematického ústavu ČSAV v Prahe a to najmä akademik J. Novák, Dr. O. Fischer - *Analýsa rozptylu* (1956) a prom. mat. J. Vondráček. Prínosom bolo tiež postgraduálne štúdium z biometriky na Prírodovedeckej fakulte UJEP (Masarykova univerzita) v Brne v sedemdesiatych rokoch minulého storočia.

Komisie biometriky

Súčasnú národnú komisiu biometriky ČAZV a SAPV majú svoj pôvod v Komisii biometriky ČSAZ, ktorá ako sme vyššie uviedli bola založená v roku 1967 ako Komisia pre biometriku a pokusníctvo pri komisii predsedníctva ČAZ pre technickú a metodickú modernizáciu. Komisia pre biometriku predsedníctva SAPV (KB P - SAPV) mala svoje ustanovujúce zasadanie 30. júna 1993 a teda je možné hodnotiť 15 rokov jej činnosti. Komise biometriky ORV ČAZV bola ustanovená 2. februára 1994.

Komisia pre biometriku P - SAPV na základe svojho organizačného a rokovacieho poriadku rozvíja svoju činnosť v odboroch biomatematiky, biometriky, ekonometrie, výpočtovej techniky a ďalších príbuzných odboroch efektívne aplikovaných a iniciovaných v pôdohospodárskom výskume. Hlavným poslaním komisie je

- rozvíjanie tvorivej vedecko-výskumnej činnosti v uvedených odboroch, metodologické usmerňovanie aplikácie existujúcich a tvorba nových biomatematických a biometrických metód a programového zabezpečenia v pôdohospodárskom výskume na úrovni súčasných svetových poznatkov,
- organizácia vedeckých zasadnutí, prednášok, konzultácií a školení pre vedecko-výskumných, pedagogických, vedecko-technických pracovníkov, ako aj študentov univerzít, doktorandov a pracovníkov pôdohospodárskej praxe,
- rozširovanie nových vedecko-výskumných poznatkov z uvedených vedných odborov edičnou činnosťou v rámci Slovenskej republiky a v zahraničí,
- aktívna spolupráca so zahraničnými inštitúciami a vedeckými spoločnosťami rôznych úrovní (národných a zahraničných) zaoberajúcimi sa problematikou uvedených vedných odborov,
- posudzovanie aplikácii moderných biomatematických metód vo vede, výskume a praxi, vypracovanie návrhov a riešení ich cieľavedomého využívania v pôdohospodárstve,
- získavanie grantov pre riešenie aktuálnych otázok pôdohospodárskeho výskumu a praxe modernými biomatematickými metódami.

Z úloh a poslania KB P-SAPV teda vyplýva aj spolupráca komisie s profesionálnymi spoločnosťami ako sú JSMaF, SŠDS a spoločnosťami biologického zamerania. Vzhľadom na dlhoročnú spoluprácu národných komisií biometriky ČAZV a SAPV a v posledných rokoch najmä spoluprácu s Polskim Towarzystwom Biometrycznym (PTB) k najdôležitejším aktivitám komisií patrí organizovanie letných škôl biometriky.

Letné školy biometriky

Letné školy biometriky mali pôvodne školiace zameranie, hoci už v tomto období išlo v prevážnej väčšine škôl o systém prednášok/referátov jednak čisto biometrického, ale najmä prakticky aplikačného zamerania. Počiatok letných škôl sa datuje rokom 1970. Letné školy biometriky boli pôvodne organizované Katedrou biológie a genetiky PF UPJŠ v Košiciach (prof. RNDr. R. Hončariv, CSc.) a majú svoj základ na Slovensku, ktorých prvých päť boli v rokoch 1970, 1973, 1976, 1979, a 1981. Ďalšie letné školy boli zamerané na teóriu a prax experimentálnej práce v biológii (VI. LŠB 1984, Račkova dolina), využitie matematických metód, biometriky a výpočtovej techniky v poľnohospodárstve - teória a výsledky výskumu (VII. LŠB 1986, Zemplínska Šírava), expedívnym metódam biometrickej analýzy a možnostiam výpočtovej techniky (VIII. LŠB 1988, Poľný Kesov). Od roku 1990 sa letné školy organizovali v spolupráci s Komisiou biometriky ČAZV tak, že organizácia a programové zameranie škôl boli zosúladené na riešenie spoločných problémov využitia biometrických metód v poľnohospodárstve v ČR a SR s poukazom na špecifické problémy pôsobenia komisií. Ďalšie letné školy boli zamerané na biometrickú analýzu a výpočtovú techniku v genetike šľachtania a plemenárskej práci (IX. LŠB 1990, Lednice na Morave), na

modelovanie biologických systémov (X. LŠB 1992, Račkova dolina), lineárne modely v poľnohospodárskom výskume a výrobe (XI. LŠB 1994 Lednice na Morave), biometrické metódy v pôdohospodárskom výskume (XII. LŠB 1996, Račkova dolina), biometrické metódy a modely v súčasnej vede a výskume (XIII. LŠB, Cikháj). Od roku 2000 letné školy sú organizované pod spoločnou témou *Biometrické metódy a modely v pôdohospodárskej vede, výskume a výuke* (XIV. LŠB, Račkova dolina, XV. LŠB 2002, Lednice na Morave, XVI. LŠB 2004, Račkova dolina, XVII. LŠB 2006, Lednice na Morave a XVIII. LŠB 2008, Račkova dolina).

Zameranie jednotlivých *letných škôl od roku 1984 do roku 2000* bolo detailne diskutované na XIV. LŠB (Fľak, 2000 b).

Letné školy biometriky v rokoch 2000 až 2006 boli zamerané na príspevky o *lineárnych modeloch* (regresia a vážená MNŠ, zovšeobecnené lineárne modely), *mnohorozmerné štatistické metódy* a to najmä na parametrickú a neparametrickú diskriminačnú analýzu, faktorovú a zhlukovú analýzu, profilové analýzy a analýzy tvaru, metódu hlavných komponentov a metódu ROC kriviek (Receiver Operating Characteristic Curves) a ich využitie pri klasifikácii. Z aplikačných metód možno spomenúť metódy *genetiky populácií* [22, 23, 26], *biometrické metódy a modely usporiadania a hodnotenia pokusov v RV*, *metódy a modely genetiky a šľachtenia rastlín*, v *ŽV lineárne modely v genetike a šľachtení zvierat* a na *biometriku a biomatematiku v udržateľnej ŽV*. Významnými boli príspevky z *rastových analýz, humánných aplikácií, hodnotenia ekologických problémov, biometrické metódy a modelovanie v lesníctve, ekonomiky a ekonometriky, mnohorozmerných štatistických metód, použitia personálnych počítačov a softvéru a výučby biomatematiky a biometriky na univerzitách* [29].

Záver z letných škôl. Z množstva príspevkov zborníkov letných škôl možno uzavrieť, že školy propagovali a najmä prezentovali využívanie moderných biometrických a biomatematických metód za využitia PC a softvéru nielen v pôdohospodárskej vede a výskume ale tiež v biológii.

Matematicko - štatistické metódy v biológii a pôdohospodárstve

V súčasnom období sú vo vedeckých prácach využívané v podstate všetky oblasti teórie pravdepodobnosti, matematickej štatistiky, metód lineárneho aj nelineárneho programovania a samozrejme tiež biomatematických metód. Pritom sú využívané bohaté knižnice štatistického softvéru na výkonných PC. Pri štúdiu vedeckých prác, ako aj pri ich posudzovaní erudovaní vedeckí pracovníci však môžu často nadobúdať dojem, či využívanie štatistických procedúr (napr. z knižnice SAS) nevedie k zahlmovaniu javov a procesov biologickej podstaty prisilným zmatematizovaním riešeného problému, bez adekvátneho využívania zodpovedajúcich modelov. Ide napr. o presnosť meraní biologických ukazovateľov modernou technikou merania, ktorá nie je vždy až taká veľká, aby odstránila existujúce biologické šумы merania, pričom sa ešte používajú také matematicko-štatistické ba matematické prostriedky, ktoré sledovaný jav a biologický proces nemôžu upresniť pri porovnaní s chybami merania. Zároveň sme svedkami šablonovitého využívania štatistických knižníc programov tzv. „vedeckými“ pracovníkmi, ktorí nemajú zodpovedajúce poznatky z metodológie zakladania pokusov, tvorby matematických modelov, výberových procesov, matematickej štatistiky či biometriky a tým adekvátneho výberu vhodných metód numerického spracovania získaných experimentálnych údajov pomocou štatistického softvéru. Z týchto hľadísk možno spomenúť oblasti, v ktorých sa dopúšťame chýb. Sú to stručne najmä nasledovné oblasti.

Formulovanie cieľa výskumnej úlohy, postulovanie hypotéz, plán pokusu, experimentálne pozorovania, overovanie hypotéz, kontrola ukončenia experimentu a správnosť uzáverov. V tomto uzavretom kruhu najčastejším prehreškom patrí nekonzultovanie výskumného

pracovníka pri plánovaní pokusu tak, aby pokus bol optimálny nielen čo do minimálneho počtu experimentálnych jednotiek vybraných vhodným výberovým procesom zo základnej populácie a náhodnosťou ich rozdelenia do pokusných skupín, ale tiež výberom vhodnej štatistickej metódy na základe správne postulovanej nulovej hypotézy, ktorou získané pozorovania budú po ukončení pokusu hodnotené, pričom experiment by mal byť aj z hľadiska ekonomických nákladov jeho realizovania optimálny.

Pri výbere štatistických metód sa nezohľadňuje použitie parametrických a neparametrických metód, voľba vhodného *lineárneho modelu* štatistickej analýzy (napr. pri analýze rozptylu, AR), či optimálneho *zmiešaného lineárneho modelu*. Stanovujú sa síce testy výdatnosti viacerých modelov pomocou rôznych informačných kritérií (napr. Akaike information criterium - AIC, Likelihood Ratio Test – LR) avšak neuvedumujeme si význam hlavných efektov a ich interakcií. Pri použití *testov mnohonásobného porovnania* sa napr. pri AR sa nerozlišuje výber testov pre plánované experimenty a testy pre hodnotenie ukazovateľov získaných výberom z populácie, ako aj na to či testy mnohonásobného porovnania zohľadňujú vyváženosť experimentov resp. napr. tiež heterogenitu výberových rozptylov. Nepoužívajú sa normalizujúce transformácie pôvodných ukazovateľov a homogenizujúce transformácie výberových rozptylov. Málo sa vyžívajú *metódy lineárnych kombinácií* priemerov, resp. použitie hodnotenia regresných závislostí kvantifikovaných hlavných faktorov a ich interakcií pomocou rozkladu súčtov štvorcov pri použití *ortogonálnych polynómov*. Iba málo sa stretávame s pokusmi, pri ktorých sa používajú zložitejšie plány pokusov ako sú napr. analýzy *m* latinských štvorcov, periodické typy pokusov a sérií, najmä pri pokusoch so zvieratami.

Pri aplikáciách *regresných a korelačných analýz* nie vždy sú splnené predpoklady o dvojrozmernom resp. mnohorozmernom normálnom rozdelení *p* - rozmerného vektora pozorovaní či posudenie multikolinearity hodnotených ukazovateľov. Málo sa využívajú krokové metódy viacnásobnej regresie. Osobitnou oblasťou je správne využívanie regresných prístupov kombinujúce tak spojité ako aj nespojité nezávisle veličiny v regresnom modeli, ako aj špecifické regresné problémy akými sú časové rady či splajny.

V súčasnosti najmä v plemenitbe HZ sa využívajú metódy náhodnej regresie, Legendreové polynómy a pod. a to až do takej miery, že sa nám často zdá, že ide o väčšiu presnosť samotného biometricko-genetického hodnotenia ako je presnosť nameraných a hodnotených ukazovateľov. Regresné analýzy *nelinearizovateľných regresných modelov* vyžadujú špecifické poznatky napr. pri hodnotení rastu organizmov a populácií, tak jednorozmerných ako aj mnohorozmerných analýz (Fľak 2000 a, 2003, 2004 a). Využívanie metód *analýz kovariancie* najmä typu analýz so sprievodnými premennými je zaťažené podobnými chybami, ako pri používaní metód analýzy rozptylu.

Využívanie *mnohorozmerných štatistických metód* je vo veľkej obľube v biologických, poľnohospodárskych a aj medicínskych experimentoch (Seal, 1964). Aj v tomto prípade je zrejmá nedostatočná znalosť teoretických štatistických základov týchto metód (Kendall, 1957, 1965; Morrison, 1967). Problémami viacrozmerných metód v ŽV a v genetike populácií sme sa zaoberali v našich predchádzajúcich prácach (Fľak, 1996; Fľak, 2004 a, 2006 a).

Špeciálnymi štatistickými metódami sú metódy hodnotenia *závislosti medzi kvalitatívnymi vlastnosťami, znakmi a ukazovateľmi*. Sú to v podstate *analýzy frekvencií/početností*, ku ktorým patria dvoj- a mnohorozmerné kontingenčné tabuľky a najmä *logaritmicke-lineárne modely*, prípadne iné špecifické metódy využívajúce χ^2 rozdelenie.

Pre hodnotenie experimentálnych pozorovaní v biológii používame tiež *neparametrické štatistické metódy*, ktoré v svojej podstate testujú zhodnosť rozdelenia dvoch alebo viacerých súborov medzi sebou. Sú to postupy používané namiesto parametrických metód, obyčajne využívajúce poradie. K ním patria tiež metódy hodnotiace (poradové) korelácie náhodných veličín.

Biomatematické metódy. Okrem metód teórie pravdepodobnosti a matematickej štatistiky, ktoré sú podstatnými pri vyžívaní biometrických metód v biológii, poľnohospodárstve ale aj medicíne sa venuje pozornosť aj základným matematickým ideám [4, 30] využívaným pri matematickom modelovaní, najmä modelovaniu biologických systémov, modelom rastu a vývinu organizmov a populácií [19], modelom v genetike populácií [21], v ekológii a etológii, medicíne a vedám životného prostredia, synergetickému modelovaniu v biológii a biologickej kybernetike (Fľak, 1999, 2005, 2006 c).

Budúcnosť využívania metód biometriky a biomatematiky

Zo stručne diskutovaných problémov možno dedukovať, že komplexné riešenie rôznorodých otázok a problémov v biológii a pôdohospodárstve nie je možné bez využívania a ďalšieho rozvíjania adekvátnej metodológie, moderných bioštatistických/biometrických a biomatematických metód. Je preto dobré, že existujú vedecké spoločnosti zaoberajúce sa predmetnými otázkami. V oblasti biológie a udržateľného poľnohospodárstva je dôležité modelovanie biologických systémov, kritické systémové myslenie, modely ekológie aj synergetického modelovania. Pokrok v produkcii potravín nie je možný bez sledovania ekosystémov a agroekológie, analýz genofondu rastlinných a živočíšnych populácií, predikcie genetických hodnôt, hodnotenia interakcie genotypu a prostredia, optimalizačných a simulačných problémov poľnohospodárskej produkcie s prihliadnutím na životné prostredie. Pokrok v pôdohospodárskej produkcii je v súčasnosti spätý s aplikáciou moderných *metód biotechnológie* a *genetického inžinierstva*, ktorých využitie nie je možné bez aplikácie adekvátnych matematických metód. Z tohto hľadiska je potrebné klásť väčšie nároky na výchovu špecialistov v diskutovaných oblastiach na univerzitách našich krajín (Fľak, 2006 b).

Záver

Krátky historický prehľad biometrických metód, pohľad na rozvoj týchto metód v ČR a SR, poslanie národných komisií biometriky tak ČAZV ako aj P - SAPV, retrospektívny prehľad doterajších letných škôl biometriky, ako aj na súčasný stav využívania matematicko-štatistických metód v biológii a pôdohospodárstve, poukázali na potrebu zintenzívnenia spolupráce biometrikov a matematikov pri riešení aktuálnych vedecko-výskumných projektov s odborníkmi rôznych odborov vedy a výskumu, ako aj na potrebu zintenzívnenia a skvalitnenia výučby biometrických a biomatematických metód na univerzitách. Z týchto hľadísk je potrebné sa zamerať na intenzívny rozvoj diskutovaných oblastí pre úspešné riešenie úloh vedy a výskumu tak, aby sme mohli v rámci EÚ úspešne spolupracovať s poprednými vedecko-výskumnými inštitúciami a univerzitami.

Literatúra

- [1] Anderson, R. L. - Bancroft, T. A: Statistical Theory for Research, Mc Graw-Hill Book Co., New York, Toronto, London, 1952, 399 pp. LCCCN 52-5984.
- [2] Bateson, W.: Hybridization and crossbreeding as method of scientific investigation. J. Royal Hort. Soc., 24, 1900, 161-170.
- [3] Bateson, W.: Mendel's Principles of Heredity. University Press, Cambridge, 1913.
- [4] Batschelet, E.: Introduction to mathematics for life scientist; Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, 1971, 495 pp. ISBN 3-540-05522-3.
- [5] Cochran, W. G. - Cox, G. M.: Experimental Design, New York, John Wiley and Sons, Inc., London, Sydney, 1950 1st ed., 1957 2nd ed., 615 pp. ISBN 0 471 16203 5.
- [6] Darwin, Ch.: The Origin of Species by Means of Natural Selection, 1859, 1st ed., New York and London, D. Appleton and Co., 1910, 6th ed.

- [7] Davenport, C. B.: Statistical Methods with Special Reference to Biological Variation. New York, John Wiley and Sons, 1904.
- [8] Elandt, R.: Statystyka matematyczna w zastosowaniu do doświadczalnictwa rolniczego, PWN, Warszawa, 1964, 596 s., Zam. Nr. 224/61. S-2.
- [9] Finney, J.: An Introduction to Statistical Science in Agriculture. Copenhagen, Ejnar Munkgaard, 1953.
- [10] Fischer, O.: Analýsa rozptylu, SPN Praha, 1956. Skriptum – prepis.
- [11] Fisher, R. A.: On an absolute criterion for fitting frequency curves. Messenger of Mathematics. xli., 1912, 155-60.
- [12] Fisher, R. A.: Statistical Methods for Research Workers, Oliver and Boyd, Edinburgh: Tweeddale Court, 1925 1st ed., University of Adelaide, 1970 14th ed., 362 pp., ISBN 0 05 002170 2
- [13] Fisher, R. A.: The Genetical Theory of Natural Selection, Oxford, Clarendon Press, 1930, Dover Publication, Inc., New York, 1958.
- [14] Fisher, R. A.: Biometry, Biometrics 4, 1948, 3, 217-219.
- [15] Fisher, R. A.: The Design of Experiments. Oliver and Boyd, Edinburgh, 1935 1st ed., New York, Hafner Publishing Company, 1947, 5th ed., 1966 8th ed.
- [16] Fisher, R. A. - Yates, F.: Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research. Edinburgh, Oliver and Boyd, 1938, 1st ed., 1948, 3rd ed., 112 pp.
- [17] Flák, P.: Viacrozmerné štatistické metódy v živočíšnej výrobe. Poľnohospodárstvo, 42, 1996, 5, 370-399.
- [18] Flák, P.: Metódy matematickej biológie. Zborník vedeckých prác zo seminára na Katedre matematiky SPU Obsah a metódy výučby matematiky a jej aplikácie v inžinierskych odboroch. SPU FEM, VES SPU, Nitra, 1999, 11-16. ISBN 80-7137-650-7.
- [19] Flák, P.: Matematické aspekty modelovania a hodnotenia rastu organizmov. Zborník Úloha a postavenie matematiky medzi inými vednými disciplínami. Katedra matematiky, FEM SPU, Nitra, 2000 a, s. 77-80. ISBN 80-7137-781-3.
- [20] Flák, P.: Letné školy biometriky (LŠB), minulosť a budúcnosť, Zborník referátov XIV. letná škola biometriky, Račkova dolina, 2. - 6. októbra 2000, A-SAPV Nitra, 2000 b, s. 23-26. ISBN 80-968274-4-8.
- [21] Flák, P.: Lineárne modely v genetike a šľachtení zvierat, Zborník referátov XIV. letná škola biometriky, Račkova dolina, 2. - 6. októbra 2000, A-SAPV Nitra, 2000 c, s. 161-177. ISBN 80-968274-4-8.
Linear models in populations genetics. Folia Fac. Sci. Nat. Univ. Masarykianae Brunensis, Mathematica 9, 2001, 3-20.
- [22] Flák, P.: Matematické a štatistické metódy genetiky populácií. Zborník vedeckých prác z medzinárodnej konferencie Matematika vo výučbe, výskume a praxi, 2002 a, Katedra matematiky, FEM SPU Nitra, 11. jún 2002, 138-143. ISBN 80-8069-040-5.
- [23] Flák, P.: Regresné metódy odhadu genetických parametrov. Sborník referátů XV. Letní školy biometriky, Lednice, 2. 9.- 6. 9. 2002, ÚKZÚZ Brno, 2002 b, s. 109-120. ISBN 80-86548-16-3.
Regression methods of estimating of genetic parameters. Folia Fac. Sci. Nat. Univ. Masarykianae Brunensis, Mathematica 11, 2002, 29-52.
- [24] Flák, P.: Matematicko-štatistické metódy alometrického rastu. Zborník Matematika vo výučbe, výskume a praxi 2003. Katedra matematiky, FEM SPU, Nitra, 2003, s.152-159. ISBN 80-8069-203-3.

- [25] Flák, P.: Matematicko-štatistické metódy viacrozmerneho alometrického rastu. In CD: Zborník vedeckých prác z medzinárodnej vedeckej konferencie Matematika vo výučbe, výskume a praxi 2004. Katedra matematiky, FEM SPU, Nitra, 26. máj 2004, 2004 a, s. 51-56. ISBN 80-8069-3714-4.
- [26] Flák, P.: Problémy metódy analýzy rozptylu pri odhade genetických parametrov. Zborník referátov XVI. letná škola biometriky, Račkova dolina, 21. - 25. júna 2004, A - SAPV Nitra, 2004 b, s. 119-135. ISBN 80-89162-06-1.
Analysis of variance method problems of estimation of genetic parameters. Folia Fac. Sci. Nat. Univ. Masarykianae Brunensis, Mathematica 12, 2004 c, 95-114.
- [27] Flák, P.: Matematické a štatistické metódy modelovania v biológii. In CD: Zborník Vedeckých prác z 5. medzinárodnej vedeckej konferencie Aktuálne trendy v matematickom vzdelávaní po vstupe do Európskej únie, Katedra matematiky, FEM, SPU Nitra, 2. - 3. júna 2005, s. 54-62. ISBN 80-8069-549-0.
- [28] Flák, P.: Mnohorozmerné štatistické metódy v genetike populácií. Sborník referátů XVII. letní školy biometriky, Lednice, 21.8.- 25. 8. 2006, ÚKZÚZ Brno, 2006 a, s. 105-123. ISBN 80-86548-89-9.
- [29] Flák, P.: Poznámky k výučbe biomatematicky a biometriky na univerzitách. Sborník referátů XVII. letní školy biometriky, Lednice, 21. 8. - 25. 8. 2006, ÚKZÚZ Brno, 2006 b, s. 25-128. ISBN 80-86548-89-9.
- [30] Flák, P.: Mathematical and statistical methods of modeling in biology. Colloquium Biometryczne, 36, 2006 c, 185-198. PL ISSN 1642-3984.
- [31] Flák, P.: Retrospektíva a budúcnosť biometrických a biomatematických metód vo vede a výskume. In: Zborník referátov XVIII. letnej školy biometriky Biometrické metódy a modely v pôdohospodárskej vede, výskume a výučbe. Račkova dolina, 23. - 27. júna 2008, A - SAPV, Vydavateľstvo SPU v Nitre, s. 3-16. ISBN 978-80-89162-31-4.
- [32] Galton, F.: Heredity Genius. MacMillan and Co., London, 1869.
- [33] Galton, F.: Natural Inheritance, MacMillan and Co., London, 1889.
- [34] Grofík R.- Flák, P.: Štatistické metódy v poľnohospodárstve. Príroda, Bratislava, 1990, 344 s. ISBN 80-07-00018-6.
- [35] Haldane, J. B. S.: The mathematical theory of natural and artificial selection. Part V. Proc. Cambridge Philos. Soc., 23, 1927, 838-844.
- [36] Haldane, J. B.S.: The Causes of Evolution, London, Longmans and Green, 1932.
- [37] Hardy, G.H.: Mendelian proportions in a mixed population. Science 28, 1908, 49-50.
- [38] Henderson, C.R.: Estimation of general, specific, and maternal abilities. Ph.D. Thesis, Iowa State University, 1948.
- [39] Henderson, C.R. Estimation of genetic parameters. Ann. Math. Stat., 21, 1950, 309.
- [40] Henderson, C.R.: Design and analysis of animal husbandry experiments. In Techniques and procedures in animal production research. Am. Soc. of Animal. Prod. 1, 1959, Design and analysis of animal science experiments, In Techniques and Procedures in Animal Science Research, Am. Soc. of Anim Science, Albany, New York, 1969, 1-35.
- [41] Hrubý, K. - Konvička, O.: Polní pokusy, jejich zakládání a hodnocení. Olomouc, Studijní a lidov ýchovný ústav kraje olomouckého, 1954.
- [42] Janko, J.: Základy štatistické indukce. Státní úřad štatistický, Praha, 1937.
- [43] Janko, J.: Jak vyv áří štatistika obrazy světa a života, Díl I., II., Jednota československých matematiků a fyziků, 1948.
- [44] Janko, J.: Štatistické tabulky, NČSAV, Praha, 1958, 252 s., DT 519.2
- [45] Janko, J.: Teorie pravděpodobnostního výběru s aplikacemi na výběrová šetření., Praha, 1960, 292 s., 03/2 DT 519.2

- [46] Janko, J. - Novák, J. - Robek, A.: Základy statistiky. Praha, Přírodovědecké nakladatelství, 1950.
- [47] Johanssen, W.: Elemente der exakten Erblichkeitslehre. Gustav Fischer, Jena, 1909.
- [48] Karakoz, A.: Theoretické základy plemenné analýzy, Sborník výzkumných ústavů zemědělských ČSR, Svazek 176, Náklad Ministerstva zemědělství republiky Československé, Praha, 1947, 191 s.
- [49] Karakoz, A.: Základy plemenitby hospodárskych zvierat, SVPL, Bratislava, 1962, 440 s., 64-039-62
- [50] Karakoz, A.: O zootechnickom výskumníctve, SVPL, Bratislava, 1968, 350 s., 64-066-68.
- [51] Kempthorne, O.: The Design and Analysis of Experiments, New York, John Wiley and Sons, Inc. London, Chapman and Hall, Ltd. 1952, 631 pp., LCCCN 51-13460.
- [52] Kempthorne, O. - Bancroft, T. A. - Gowen, J. W. - Lush, J. L.: Statistics and Mathematics in Biology. Ames, The Iowa Sate College Press, 1954, 632 + IX pp.
- [53] Kendall, M. G.: A Course in Multivariate Analysis. Charles Griffin and Co. Ltd., London, 1957, 1st ed., 1965 3rd impression, 185 pp.
- [54] Lush, J. L.: Animal Breeding Plans. Ames, Iowa, 1945, 443 pp.
- [55] Mather, K.: Statistical Analysis in Biology, Methuen and Co., Ltd. London, 1943 1st ed., 1966 5th ed., 267 pp. Cat. No. 12/3832/62 5.2
- [56] Mendel, G.: Versuche über Pflanzenhybriden. Verhandlungen des Naturforschenden Vereines im Brün 4, 3-47, Translated by W. Bateson in Mendel's Principles of Heredity, Cambridge: at the University Press, 1909.
- [57] Morrison, D. F. Multivariate Statistical Methods. McGraw - Hill Co., New York, St. Louis. San Francisco, Toronto, London, Sydney, 1967, 338 pp. ISBN 07-043185-x.
- [58] Mudra, A.: Statistische Methoden für landwirtschaftliche Versuche, Paul Parey in Berlin und Hamburg, 1958, 336 S.
- [59] Myslivec, V.: Statistické metody zemědělského a lesnického výzkumníctví. ČSAZV, SZN, Praha, 1957, 556 s., 58/IV-2
- [60] Nemčinov, V. S.: Sel'skochozjajstvennaja statistika s osnovami obščej teorii. Moskva-Leningrad, Sel'chozgiz. 1945.
- [61] Ostle, B.: Statistics in Research. Ames, The Iowa State College Press. 1954.
- [62] Pearson, K.: Mathematical contributions to the Theory of Evolution. On the Law of Ancestral Heredity. Proc. Royal Soc. London, 62, 1898, 386-412.
- [63] Plochinskij, N. A.: Statističeskije metody v zootechnii. Moskva, Sel'chozgiz, 1937.
- [64] Quenouille, M. H.: The Design and Analysis of Experiment. London, Charles Griffin and Co., 1953.
- [65] Rao, C. R.: Advanced Statistical Methods in Biometric Research, New York, John Wiley and Sons, Inc., Chapman and Hall, Ltd., 1952, 390 pp. LCCCN 52-5325.
- [66] Rod, J.: Základy početního zpracování polních pokusů. Praha, 1952, (cyklostylováno).
- [67] Rod, J. - Vágnerová, V.: Základy biometriky. SPN., Praha, 1958.
- [68] Rod, J. - Vondráček, J.: Polní pokusníctví. Pokusnická technika se základy biometriky. VŠZ Brno, SPN Praha, 1973, 232 s., Č. p. 1508-8251
- [69] Rokickij, P. F. Osnovy variacionnej statistiky dlja biologov, 1961 Izd. 1, Minsk, Vyšejšaja škola, 1967, Izd. 2, 328 s.
- [70] Roth, Z. - Josífko, M. - Malý, V. - Trčka, V.: Statistické metody v experimentální medicíně, SZN, Praha, 1962, 592 s., 08-106-62.
- [71] Seal, H. L.: Multivariate Statistical Analysis for Biologists. Methuen and Co. Ltd., London, 1964, 1st ed., 207 + XI pp.

- [72] Snedecor, G. W.: Analysis of variance and covariance. Collegiate Press, Inc., Ames, Iowa, 1936.
- [73] Snedecor, G. W. - Cochran, W. G.: Statistical Methods, The Iowa State University Press, Ames, Iowa, U.S.A., 1937 1st ed., 1980/82 7th ed., 507 pp. ISBN 0 - 8138-1560-6.
- [74] Thompson, D'Arcy.: On Growth and Form, Cambridge: Cambridge Univ. Press., 1917, 1st ed., 1945 2nd ed., 405 pp.
- [75] Urbach, V. J.: Biometričeskije metody, Izd. Nauka, Moskva, 1964, 416 s.
- [76] Weber, E.: Grundriss der biologischen Statistik, für Naturwissenschaftler, Landwirte und Mediziner, 1948 1. Auflage, VEB Gustav Wischer Verlag Jena,. 1964 5. Auflage, 582 S. Lizenznummer 261 215/43/63.
- [77] Weldon, W. F. R.: Mendel's laws of alternative inheritance. Biometrika 1, 1902, 228-254.
- [78] Wright, S. G.: On the nature of size factors. Genetics 3, 1918, 367-74.
- [79] Wright, S. G.: Correlation and causation, J. Agric. Res., 20, 1921, 557-85.
- [80] Wright, S. G.: The theory of path coefficients - a reply to Niles' criticism. Genetics, 8, 1923, 239-55.

Ing. Pavel Flák, DrSc., Slovenské centrum poľnohospodárskeho výskumu,
Hlohovská 2, 949 92 Nitra, e-mail: flak@scpv.sk

BIOMETRICS AND BIOMATHEMATICS METHODS IN SCIENCE AND RESEARCH

Abstract

The short historical review of biometrics development in Czech and Slovak Republic, the roles of commissions of biometrics in our countries, history and roles of summer schools of biometrics, the present state of use of mathematical and statistical methods in biology and agricultural research and a short outline of future development of biometrics and biomathematics methods, which are principal for the future progress of biological sciences, are subject of our paper. The practical applications of discussed methods in sciences and research cannot be realized without very good knowledges of mathematical ideas and principles.

Key words: history, biometrics, biometrics societies/commissions, summer schools of biometrics, biological and agricultural sciences, roles of biometrics in science and research.