

Sokváltozós ordinációs módszerek alkalmazása a madarak habitat-szelekciójának vizsgálatában

Moskát Csaba

Moskát, C. 1998. Application of multivariate statistical methods in bird habitat selection studies. – Ornis Hung. 8 Suppl. 1: 33-40.

The paper reviews the multivariate statistical methods frequently applied in bird ecology (Principal Component Analysis, Correspondence Analysis, Metric Multidimensional Scaling, Discriminant Analysis, Canonical Correspondence Analysis), and other techniques probably becoming popular in the future (e.g. Multivariate Plexus Analysis). The methods are discussed from the methodological viewpoint (e.g. a priori grouping of data, metric and non-metric procedures), and from the biological viewpoint (structure analysis of communities, analysis of habitat selection at the population level). Popular softwares, general problems, and critiques are also discussed.



A cikk rövid áttekintést ad a madárökológiában leggyakrabban alkalmazott sokváltozós ordinációs eljárásokról (főkomponens analízis, korrespondencia analízis, metrikus skálázás, nem-metrikus skálázás, diszkriminancia analízis, kanonikus korrespondencia analízis) és néhány elterjedésre számítható módszerről (pl. sokváltozós plexus analízis), csoportosítva ezen eljárásokat különböző módszertani szempontból (adatok *a priori* csoportosításának lehetősége, metrikus és nem-metrikus módszerek stb.), s biológiai oldalról is (közösségek szerkezetvizsgálata és a habitat-szerkezettel való kapcsolatának elemzése, populációk habitatszelekciójának vizsgálata). A szerző röviden ismerteti az elterjedtebb számítógépes programcsomagokat, és kitér a sokváltozós ordinációk alkalmazási nehézségeire, s az azokat ért kritikákra is.

M. Cs.: MTA - MTM Állatökológiai Kutatócsoport, Magyar Természettudományi Múzeum, 1088 Budapest, Baross u. 13.

1. Bevezetés

Ha megvizsgálunk egy madárpopulációt, vagy madárközösséget hogy milyen ökológiai tényezők hatnak rájuk, akkor gyakran a változók sokaságát kell megmérnünk. Az emberi agy kapacitása azonban erősen korlátozott, s ha sok változónk van, nem tudjuk azokat áttekinteni. Gondoljunk arra, hogy nem tudunk elképzelni egy n -dimenziós teret, legfeljebb 3 dimenzió-

ban tudunk gondolkodni. Többek között itt tudnak segíteni a sokváltozós módszerek.

A II világháború után a számítógépek fejlődését gyorsan követte a sokváltozós statisztikai módszerek fejlődése is. Ezek általában igen számolásigényes eljárások, melyek a számítógépek elterjedésével az ökológus kutatók számára is egyre inkább hozzáférhetővé váltak. Sőt, számos sokváltozós eljárás csoport kifejlesztői maguk az ökológusok voltak, mivel adatsoraik elemzésére nem találtak megfelelő eljárás-

sokat. Az ökológiában különösen nagy szerep jutott az ordinációs módszereknek. Az ordinációk legáltalánosabb célja a dimenziócsökkentés. Az eredeti n számú változót p új, mesterséges, vagy más néven származtatott változóval helyettesítjük (ahol $p \leq n$), melyek az eredeti adatok információtartalmát csak kis részben módosítják, de jól áttekinthető reprezentációját adják. Az ordináció használhatósága azonban adatfüggő. Szerencsés esetben az eredeti változókat egy vagy két új változóval is helyettesíthetjük, s ezek akár az eredeti sokféleség 80-90%-át is megőrizhetik. Ha azonban az alapadatmátrix nem jól strukturált, akkor az ordinációtól sem várhatunk el jól használható eredményt.

2. Az ordinációs eljárások főbb típusai

Az ordinációs eljárásoknak számos típusa van, se szeri se száma a módszerváltozatoknak. Az ismertebb alaptípusokat számos szakkönyv ismerteti, magyar nyelven hasznosan forgatható Podani (1997) munkája. Sováltozós ordinációt mátrix alakban elrendezhető adatokon végezhetünk. (A mátrix sorokból és oszlopokból álló, téglalap alakban elrendezhető számhalmaz. Ha a mátrix m sorból és n oszlopból áll, akkor az $[m \times n]$ -es méretű). Az adatmátrix általában homogén, de a diszkriminancia-analízis csoport, a kanonikus változó analízis, és a sokváltozós plexus analízis, s részben a kanonikus korrespondencia analízis is megengedi az esetek vagy a változók előzetes csoportosítását. Az ordinációk legismertebb csoportja a metrikus eljárásoké, közéjük tartozik pl. a népszerű főkomponens analízis. Ez az eljárás egy adatmátrixból kiindulva, egy

származtatott, szimmetrikus mátrix, pl. korrelációs mátrix sajátérték- és sajátvektor-számításán keresztül határoz meg új, mesterséges változókat, melyeket az eredeti változók lineáris kombinációjaként állítja elő. Az új változók lineárisan függetlenek, és fontossági sorrendbe rendezettek. Szerencsés esetben az összvariancia jelentős részét már néhány új változó is nagy százalékban magyarázza, s így a többi változó elhanyagolható.

Ha előveszünk matematikusok által írt sokváltozós könyveket, ők az alapadatok eloszlására vonatkozó feltételekkel kezdik a módszerek ismertetését. Ez metrikus módszereknél a multinormál eloszlás, mely valós, biológiai adatoknál ritkán teljesül, s nehezen is vizsgálható. Egyszerűbb, de valójában gyengébb vizsgálat, amikor a változókat egyenként teszteljük a normális eloszlásra. (A marginális eloszlások normalitása szükséges, de nem elégséges feltétele a sokváltozós normális eloszlásnak.) Adattranszformációval sokat javíthatunk az alapadatok eloszlásán (Dunn 1981, Afifi & Clark 1984). A numerikus ökológiával foglalkozó botanikusok és zoológusok viszont más módon közelítették meg a problémát. Vizsgáljuk meg, hogy messze nem ideális adatokon az egyes módszerek mennyire alkalmazhatók, mennyire torzítanak, azaz a módszertani sajátosságokat figyelembe véve értelmezhetőek-e az eredmények. Ilyen értelemben a módszerek robusztusságáról ("robustness") szokás beszélni. A metrikus módszerek robusztussága változó, általában alacsony, viszont a nem metrikus eljárásoké magasabb (nem-metrikus skálázás és az ezen alapuló sokváltozós plexus analízis). A metrikus és a nem metrikus megközelítésen kívül létezik egy harmadik eljárás csoport is, mely a metrikus

eredményeket transzformálja. Így pl. a korrespondencia analízis egyik változatát ("detrended correspondence analysis", DCA) a nem-lineáris összefüggéseknél fellépő lópatkó alakú ívhatás ("arch effect", vagy más szóval "horse-shoe effect") kiküszöbölésére fejlesztették ki. Az eljárás ismertebb nevén "DECORANA", mely valójában az erre a célra kifejlesztett program neve (Hill 1979, Hill & Gauch 1980). A DECORANA-t ért kritikák hatására (pl. Wartenberg *et al.* 1987) a DECORANA népszerűsége csökkenőben van, mivel a mesterséges újraskálázással az adatok lényegi tulajdonságait deformálja, s fedi el. Elvileg az újraskálázás más ordinációs eljárásokra is elvégezhető (pl. Ludwig & Reynolds (1988) főkomponens analízisre ad programot), s maga az újraskálázás is számos algoritmus szerint végezhető el (Jongman *et al.* 1987).

A sokváltozós analízisek elvégezhetőségének egyéb feltételeiről hasznos áttekintést ad Pimentel (1979), valamint Morrison *et al.* (1992: 280-283) munkája.

3. Madárközösségek sokváltozós elemzése

A madárközösségek faj-abundancia adatai [$m \times n$]-es adatmátrixokba rendezhetők, ahol a mátrixnak m sora van (pl. fajok vagy mintavételi helyek), s n oszlopa (pl. mintavételi helyek vagy fajok). Ez bármely ordinációs eljárással elemezhető, mely nem kívánja az esetek a priori csoportosítását (pl. főkomponens analízis, főkoordináta analízis vagy más néven metrikus skálázás, korrespondencia analízis). A gyakorlatban az adatmátrixban szereplő sok 0 érték leronthatja az egyes eljárások, pl. a főkomponens analízis eredményességét.

A korrespondencia analízis azonban nem Euklideszi távolságokkal dolgozik, mint pl. a főkomponens analízis, hanem chinégyzet értékekkel, ezért ilyen esetekben inkább ajánlható. A robosztus nem-metrikus skálázás sok esetben szintén jól alkalmazható.

A gyakorlatban az alapadatmátrix minimális mérete kb. 10×10 -es, vagy 15×15 -ös. Ha túl sok változót (vagy esetet) kell ábrázolnunk, értelmeznünk, ez nehézségeket okoz. Kedvező esetben ezek száma nem lépi túl az 50-et.

Gauch (1992a) az adatmátrix fontos tulajdonságai ismerteti: (1) zaj, (2) redundancia, (3) kapcsolatrendszer, és (4) "outlier"-ek. (1) A mintavétel adottságaitól függően (minta nagysága, a mintavételi módszer pontossága, fajok száma stb.) minden mintánk többé-kevésbé eltér egymástól, mégha ugyanazon mintavételi helyen, ugyanazon módszerrel végeztük is a mintavételt. Mintánk így részben a tanulmányozandó struktúrára, részben pedig a zajra ("fehér zaj") vonatkozik. A sokváltozós ordinációk hatékony eszközei a zajszűrésnek (Gauch 1982b). (2) Sok adatelemünk nagyon hasonló lehet egymáshoz, s ezeket koordináta-rendszerben ábrázolva gyakran egymásra tornyosuló pontfelhőket kapunk (redundancia). A kis eltolódásoknak viszont sokszor az adataink zajossága lehet az oka. Így a redundancia mintegy ellentéte a zajnak, s segíthet felismerni az adatok zajszintjét. Sokszor az ökológiai adatok gyűjtésénél az a legjobb stratégia, ha nagyszámú adatot gyűjtünk, majd valamilyen összegzéssel (pl. minták összevonása) lereducáljuk a redundanciát és csökkentjük a zajszintet. (3) A változók és/vagy esetek kapcsolatrendszerén egyrészt a korrelációs struktúrát értjük, de ettől többet is, mivel az lehet nem-lineáris

összefüggésrendszer is, s emellett a háttérváltozókra való visszavezethetőséget is. Az ordinációk célja épp ennek az összetett kapcsolatrendszernek a feltárása. (4) Az "outlier"-ek kilógó esetek, melyek a többi esettől jelentősen különböznek. Ennek többféle oka lehet, pl. mintavételi hiba, vagy diszjunkt mintavétel. Utóbbira példa pl. egy ökológiai grádiens mentén végzett mintavétel-sorozat, ahol a grádiens egy adott szakaszán nem volt mintavétel (esetleg nem is lehetett, mert hiányzott), csak az "outlier" minta származik innen. Ha az "outlier"-ek csoportba vagy csoportokba rendeződnek, akkor ez az adatmátrix diszjunkttségára utal. Az adatok a mátrixon belül blokkokba tömörülhetnek, s az adatblokkok egymással való szimilaritása közel zéró is lehet. Az "outlier"-ek lehetnek nemkívánatos elemek, melyek leronthatják az analízist (pl. mintavételi, vagy adatbeviteli hibából származó "outlier"-ek), de adott esetben a vizsgált struktúra fontos része is lehet, melyek esetleg kiegészítő környezeti vagy történeti adatokkal együtt már jól értelmezhetők.

4. Madárközösségek és a habitatszerkezet közös elemzése

Ha a madárközösség mellett a habitatszerkezet alapadatait is tárolni akarjuk, akkor az egyszerű $[m \times n]$ -es adatmátrix már csak nehézkesen alkalmazható. Ilyen esetben legkevesebb két adatmátrixunk van, egy $[m \times n_1]$ -es mintavételi helyenkénti fajabundanciákkal, s egy másik, $[m \times n_2]$ -típusú, - rendszerint - ugyanazon mintavételi helyenkénti habitatváltozó értékekkel. Az ordinációs módszerek többsége viszont megköveteli az $[m \times n]$ -es adatmátri-

xot. A legegyszerűbb esetben a két adatmátrixot összevonják, s a madárfajonkénti vegetációs-paraméterek átlagértékeit írják be egy $[m \times n]$ -es mátrixba. Ez nyilvánvalóan jelentős információvesztéssel jár, elvész a habitatváltozók variabilitása, s ugyancsak elvész a madárfajok abundancia-értékeiben rejlő információ. Fejlettebb eljárás a kanonikus korrespondencia analízis (ter Braak 1986, 1987a), mely a madár-abundancia adatokon kívül a mintavételi egységeken mért vegetációs változókat is tudja kezelni. Már robosztusabb (nem lineáris jellegű) és tetszés szerint bővíthető a sokváltozós plexus analízis ("multivariate plexus analysis", MPA) (Moskát 1991). Ez valójában egy keretrendszer ("sokváltozós plexus koncepció", MPC), mely a feladat nagyságához, azaz az alapadatmátrixok számához bővíthető, s az egyes részanalízisek az adatok tulajdonságaihoz és a célkitűzéshez viszonylag szabadon választhatók. A madárfaj-abundancia és a vegetációs paraméterek alapadat-mátrixa elvileg elemezhető lenne kanonikus korreláció analízissel is, de ez Gauch & Wentworth (1976) szerint ez kevéssé robosztus eljárás. Madárökológiai alkalmazhatóságát tesztelni kellene.

Különböző közösségek ordinációja a gyakorlatban esetleg megoldható akár egy főkomponens analízissel is, de igazából a diszkriminancia analízis csoport tagjai alkalmasak rá. A korábban előszeretettel alkalmazott lépésenkénti ("stepwise") diszkriminancia analízist egyre több kritika éri, s helyette inkább a kanonikus változó analízis (többszörös diszkriminancia analízis) ajánlható (pl. Ludwig & Reynolds 1988). A fő érv a lépésenkénti diszkriminancia analízis ellen, hogy először minden változót bevon az analízisbe, majd csupán a statisztikai paraméterek alapján ejti ki a

feleslegeseket, mely a biológiai tartalom rovására mehet. Nekem jó személyes tapasztalataim vannak az eljárással (Moskát *et al.* 1993, 1996). Különösen, ha hasonló adatszerkezetek közötti finom különbségekre vagyunk kíváncsiak, akkor jobban rámutat a különbségekre, mint a kanonikus változó analízis. A lépésenkénti diszkriminancia analízis alkalmazása kétségtelenül odafigyelést igényel, mind az alapadatmátrix összeállításánál, mind pedig az eredmények értelmezésénél. Ha lehet, még más eljárásokat is vonjunk be az eredmények ellenőrzésére és kiegészítésére.

4.1. Madárpopulációk habitat-szelekciójának sokváltozós elemzése

A habitatszelekció vizsgálatánál két alapeset lehetséges. Egy madárfajról gyűjtünk adatokat különböző mintavételi helyeken, rendszerint territóriumokban, vagy sok fajt vizsgálunk, egymástól független, diszkrét mintavételi egységekben, gyakran a territóriumokban. Az első esetben egy $[m \times n]$ -es adatmátrixhoz jutunk, mely egyszerűen alkalmazható ordinációhoz, a másodikban legegyszerűbb esetben átlagolni kell a fajonkénti változónkénti értékeket, hogy az adatok elrendezhetőek legyenek egy $[m \times n]$ -es adatmátrixba. Ilyen esetben elvész a fajonkénti variabilitás.

5. A sokváltozós analíziseket ért kritikák

A sokváltozós módszereket elsősorban bonyolultabb adatszerkezetek struktúráinak elemzésére használhatjuk, s így a vizsgálati objektumok összefüggéseit tarthatjuk fel. Ez főleg struktúra-vizsgálatot jelent, de esetenként lehet az elemzése-

nek némi dinamikus jellege is (pl. viselkedési mintázatok ordinációja, Spence 1978, Frey & Pimentel 1978, Pimentel & Frey 1978, vagy társulásdinamikai struktúravizsgálatok, pl. ökológiai szukcesszió vizsgálata, Moskát & Waliczky 1992). Esetenként csak összefüggések kihalászásáról van szó, ez viszont nélkülük sokszor megoldhatatlan. Az ordinációk az ismert explorációs jelleg mellett (Greig-Smith 1980) hipotézis-generálásra is felhasználhatók (Whittaker 1967), de az analízisek általában - nem alkalmasak hipotézisek tesztelésére. Ezt kiegészítő analízisekkel oldhatjuk meg, a vizsgálat sok esetben még egy második, elemző szintet is igényel. Orlóci (1978) szerint az ordinációk az alábbi esetekben alkalmasak a szokásos explorációs szerepen túl hipotézisek tesztelésére: amikor az eredmények sorozatosan összhangban vannak ismert tényekkel, vagy sokszor megismételt kísérletek eredményeivel, vagy megfigyelésekkel, és természetesen akkor, ha az alapadatok eloszlása ismert és messzemenően kielégíti a módszer által igényelt kívánalmakat. Ugyancsak vita tárgya szokott lenni, hogy az ordinációk során kapott új mesterséges változók, vagy ábrázolásban gondolkodva a tengelyek hogyan magyarázhatók. Általában - akik még sohasem végeztek ordinációt - előszeretettel ragaszkodnak a tengelyek értelmezéséhez. Ez sokszor megoldható és fontos is, hogy biológiai értelmezést adjunk az eredményeknek, de esetenként előfordulhat, hogy az ordináció célja csupán egy dimenziócsökkentés, s a tengelyek magyarázata másodlagos.

Külön problémakör az eredmények stabilitása. Karr & Martin (1981) szimulált, mesterséges adatokon hajtott végre főkomponens analízist, s itt is a valós adatokhoz hasonló eredményeket kapott. Bármilyen

adatokat is adunk, egy ordinációnak mindig van eredménye (kivéve, ha pl. a mátrix szingularitása miatt nem határozhatók meg egyértelműen a sajátvektorok és a sajátértékek). Ha kicsit változtatunk az adatmátrixon, az eredmények is változnak. Különböző módszerek más eredményeket adhatnak. Ezek a legkomolyabb problémák, melyek visszariaszthatnak a sokváltozós ordinációs eljárások alkalmazásától. Ha azonban aprólékosan kielemezzük az eredményeket, figyelembe véve az adatok eloszlási tulajdonságait, valamint az alkalmazott eljárások sajátosságait, akkor az előbbi aggályok feloldhatók. Ajánlatos eredményeink validitás-vizsgálatát is elvégezni, pl. mintaelemszám-csökkentéssel megismételt analízissel. Mindenesetre a sokváltozós ordinációk alkalmazása meglehetősen óvatosságot igényel. Mindenképpen javasolható, hogy ha lehet, ne csak egy módszert próbáljunk ki, hanem néhány közelrokon eljárást is. Ha a konkrét eljárások specialitásait leszámítva nagyon hasonló eredményeket kapunk, akkor ezek egymást megerősítik. Az utóbbi években jelentősen fejlődtek az ordinációk összehasonlítását megvalósító algoritmusok is (pl. "Procrustes"-analízis, lásd pl. Podani 1994).

A sokváltozós módszerek jellegükben erősen eltérnek az egyváltozós statisztikában megszokott hipotézisvizsgálatoktól. Míg ott statisztikai próbákkal kapunk szignifikáns vagy nem szignifikáns összefüggéseket, lényegében egy receptkönyv szerint, mechanikusan, addig a sokváltozós ordinációknál csak elvétve van lehetőség szignifikancia-vizsgálatra, s csak korlátozottan állnak rendelkezésünkre általánosan alkalmazható receptek. Ez egyben a tudományterületet izgalmassá és dinamikussá is teszi, viszont rámutat a sokváltozós módszerek alkalmazásának nehézségeire is.

Összefoglalva: A sokváltozós ordinációk eredményének használhatósága két fő dolgon múlik: (1) milyenek az adataink (mintavétel reprezentativitása, az adatok eloszlástípusa, zajsintje, redundanciája, kapcsolatrendszere, "outlier"-struktúrája stb.), s hogy (2) sikerült-e kiválasztani az adott adatokhoz és a vizsgált problémához legmegfelelőbb eljárást, ill. eljárásokat.

6. Számítógépes programcsomagok

Sokváltozós analízisekre már a nagygépes korszakban kifejlesztettek komoly sokváltozós statisztikai programcsomagokat, melyek azután átkerültek a PC-s világba is (pl. BMDP, SPSS, SAS). Újabb általános célú programcsomagok kerültek piacra (STATGRAPHICS, SYSTAT, CSS Statistica stb), s megjelentek a speciálisan ökológusok részére kifejlesztett programcsomagok is (pl. BioStat, PC-ORD). Külön meg kell említenünk két magyar fejlesztésű programcsomagot, a SYN-TAX-ot (Podani 1993, 1994), és a NuCoSa-t (Tóthmérész 1993, 1994), melyek a holland, kanonikus korrespondencia analízisre kifejlesztett CANOCO programcsomaggal (ter Braak 1987b) együtt talán a világon legkorszerűbbeknek tekinthetők az ordináció témakörében. Jelenleg befejezés előtt áll egy sokváltozós plexus analízist végrehajtó programcsomag is.

7. Mintapéldák

A Magyar Madártani Egyesület IV. Tudományos Ülésén bemutatott mintapéldák az alábbi közleményekben található meg:

- (1) Közösségi szintű problémára: Madárközösség és vegetációszerkezet elemzése a Szigetköz területén füzes-nyáras erdőkben kanonikus változó analízissel, főkomponens analízissel és sokváltozós plexus analízissel (Moskát & Fuisz 1995a). Az alkalmazások iránt érdeklődőknek ajánlható még Verner *et al.* (1986) kötete. További hazai példákat ismertet Moskát (1981), Moskát és Waliczky (1982), valamint Moskát & Fuisz (1985b) is.
- (2) Populációs szintű elemzésre: A kerti geze (*Hippolais icterina*) habitatszelekciójának vizsgálata a szigetközi ártéri erdőkben, különös tekintettel a vonuló és a fészkelő populáció közötti különbségekre, lépésenkénti diszkriminancia analízissel és főkomponens analízissel (Moskát *et al.* 1993).

Köszönetnyilvánítás. A kézirat az Országos Tudományos Kutatási Alap (OTKA) T 1/6 012832 jelű pályázatának keretében készült.

Irodalom

- Afifi, A. A. & V. Clark. 1984. Computer-aided multivariate analysis. – Lifetime Learning Publications, Belmont, California, USA.
- Dunn, J. E. 1981. Data-based transformations in multivariate analysis. Pp. 93-102. In: Capen, D. E. (ed.). The use of multivariate statistics in studies of wildlife habitat. – USDA For. Ser. Gen. Tech. Rep. RM-87., Rocky Mountain Forest and Range Experimental Station, Ft. Collins, Colorado, USA.
- Frey, D. F. & R. A. Pimentel. 1978. Principal component analysis and factor analysis. Pp. 219-245. In: Colgan, P. W. (ed.). Quantitative ethology. – Wiley, New York, USA.
- Gauch, H. G. Jr. 1982a. Multivariate analysis in community ecology. – Cambridge University Press, Cambridge.
- Gauch, H. G. Jr. 1982b. Noise reduction by eigenvector ordination. – Ecology 63: 1643-1649.
- Gauch, H. G., Jr. & T. R. Wentworth. 1976. Canonical correlation analysis as an ordination technique. – Vegetatio 33: 17-22.
- Greig-Smith, P. 1980. The development of numerical classification and ordination. – Vegetatio 42: 1-9.
- Hill, M. O. 1979. DECORANA - A FORTRAN Program for Detrended Correspondence Analysis and Reciprocal Averaging. – Ecology and Systematics, Cornell University, Ithaca, New York, USA.
- Hill, M. O. & H. G. Gauch, Jr. 1980. Detrended correspondence analysis: an improved ordination technique. – Vegetatio 42: 47-58.
- Jongman, R. H., ter Braak, C. J. F. & O. F. R. Tongeren, van. 1987. Data analysis in community and landscape ecology. – Pudoc, Wageningen, The Netherlands.
- Karr, J. R. & T. E. Martin. 1981. Random numbers and principal components: further searches for the unicorn? Pp. 20-24. In: Capen, D. E. (ed.). The use of multivariate statistics in studies of wildlife habitat. – USDA For. Ser. Gen. Tech. Rep. RM-87., Rocky Mountain Forest and Range Experimental Station, Ft. Collins, Colorado, USA.
- Ludwig, J. A. & J. F. Reynolds. 1988. Statistical ecology. – Wiley, New York, USA.
- Minchin, P. R. 1987. An evaluation of the relative robustness of techniques for ecological ordination. – Vegetatio 69: 89-107.
- Morrison, M. L., Marcot, B. G. & R. W. Mannan. 1992. Wildlife-habitat relationships. – The University of Wisconsin Press, Madison, Wisconsin, USA.
- Moskát, C. 1991. Multivariate plexus concept in the study of complex ecological data: an application to the analysis of bird-habitat relationships. – Coenoses 6: 79-89.
- Moskát, C., Báldi, A. & Z. Waliczky. 1993. Habitat selection of breeding and migrating icterine warblers *Hippolais icterina*: a multivariate study. – Ecography 16: 137-142.
- Moskát, C. & T. Fuisz. 1995a. Conservational aspects of bird-vegetation relationships in riparian forests along the River Danube: a multivariate study. – Acta zool. hung. 41: 151-164.
- Moskát, C. & T. Fuisz. 1995b. Bird community and vegetation structure in Central European deciduous forests: a multivariate study. Pp. 643-647. In: Bissonette, J. A. & P. R. Krausman. (eds.). Integrating people and wildlife for a sustainable future. (Proc. Intern. Wildlife Manage. Congress, San José, Costa Rica). – The Wildlife Society, Bethesda, Maryland, USA.

- Moskát, C., Fuisz, T. & J.-Y. Park. 1996. Comparison of habitat selection characteristics of the Robin (*Erithacus rubecula*) and the Dunnock (*Prunella modularis*) in riparian forests along the River Danube. – *Ornis Hung.* 6: 15-22.
- Moskát, C. & Z. Waliczky. 1992. Bird-vegetation relationships along ecological gradients: ordination and plexus analysis. – *Ornis Hung.* 2: 45-60.
- Orlóci, L. 1978. *Multivariate analysis in vegetation research*. 2nd. ed. – Dr. W. Junk Publishers, The Hague, The Netherlands.
- Pimentel, R. A. 1979. *Morphometrics*. – Kendall/Hunt Publishing Co., Dubuque, Iowa.
- Pimentel, R. A. & D. F. Frey. 1978. *Multivariate analysis of variance and discriminant analysis*. Pp. 247-274. In: Colgan, P. W. (ed.). *Quantitative ethology*. – Wiley, New York, USA.
- Podani, J. 1993. SYN-TAX-pc. Computer programs for multivariate data analysis in ecology and systematics. Version 5.0. User's guide. – Scientia Publishing, Budapest, Hungary.
- Podani, J. 1994. *Multivariate data analysis in ecology and systematics: a methodological guide to the SYN-TAX 5.0 package*. – SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands.
- Podani, J. 1997. Bevezetés a többváltozós biológiai adatfeltárás rejtelméibe. – Scientia Kiadó Budapest.
- Spence, I. 1978. *Multidimensional scaling*. Pp. 175-217. In: Colgan, P. W. (ed.). *Quantitative ethology*. – Wiley, New York, USA.
- ter Braak, C. J. F. 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. – *Ecology* 67: 1167-1179.
- ter Braak, C. J. F. 1987a. The analysis of vegetation-environment relationships by canonical correspondence analysis. – *Vegetatio* 69: 69-77.
- ter Braak, C. J. F. 1987b. CANOCO - a FORTRAN program for canonical community ordination by [partial] [detrended] [canonical] correspondence analysis, and redundancy analysis (version 2.1). – ITI-TNO, Wageningen, The Netherlands.
- Tótmérész, B. 1993. NuCoSa 1.0: Number Cruncher for Community Studies and other Ecological Applications. – *Abstracta Botanica* 7: 283-287.
- Tóthmérész, B. 1994. NuCoSa. Number Cruncher for Community Studies and other Ecological Applications. Programcsomag közösségi szintű botanikai, zoológiai és ökológiai vizsgálatokhoz. – KLTE Ökológiai Tanszék, Debrecen.
- Verner, J., Morrison, M. L., & C. J. Ralph. 1986. *Wildlife 2000. Modeling habitat relationships of terrestrial vertebrates*. – The University of Wisconsin Press, Madison, Wisconsin, USA.
- Wartenberg, D., Ferson, S. & F. J. Rohlf. 1987. Putting things in order: a critique of detrended correspondence analysis. – *Am. Nat.* 129: 434-448.
- Whittaker, R. H. 1967. Gradient analysis of vegetation. – *Biol. Rev.* 42: 207-264.
- Willson, M. F. 1974. Avian community organization and habitat structure. – *Ecology* 55: 1017-1029.