



SAPIENTIA
ERDÉLYI MAGYAR
TUDOMÁNYEGYETEM
MAROSVÁRHELYI KAR



BENEDEK KLÁRA

URÁK ISTVÁN

FAZAKAS CSABA

ÖKOLÓGIA ÉS KÖRNYEZETVÉDELEM

GYAKORLATI JEGYZET

BENEDEK KLÁRA
URÁK ISTVÁN
FAZAKAS CSABA

*ÖKOLÓGIA
ÉS KÖRNYEZETVÉDELEM
GYAKORLATI JEGYZET*



SAPIENTIA ERDÉLYI MAGYAR TUDOMÁNYEGYETEM
MAROSVÁRHELYI KAR
KERTÉSZMÉRNÖKI TANSZÉK

**ÖKOLÓGIA
ÉS KÖRNYEZETVÉDELEM
GYAKORLATI JEGYZET**

BENEDEK KLÁRA – URÁK ISTVÁN – FAZAKAS CSABA

| Scientia Kiadó |
| Kolozsvár ■ 2023 |



Felelős kiadó:
Sorbán Angella

Lektor:
Balog Adalbert (Kolozsvár)

Borítóterv:
Tipotéka Kft.

Kiadói koordinátor:
Szabó Beáta

A szakmai felelősséget teljes mértékben a szerzők vállalják.

Első magyar nyelvű kiadás: 2023
© Scientia 2023

Minden jog fenntartva, beleértve a sokszorosítás, a nyilvános előadás, a rádió- és televízióadás, valamint a fordítás jogát, az egyes fejezeteket illetően is.

ISBN: 978-606-975-084-1

TARTALOM

Előszó.	11
Munkavédelem: az ökológiai kutatások legfontosabb szabályai	13
I. Alapvető kutatómódszertani ismeretek az ökológia és környezetvédelem tematikájú kutatások megfelelő kivitelezéséhez	15
I.1. A Past statisztikai programcsomag ismertetése	16
I.2. Statisztikai alapismeretek	18
I.2.1. Az adatsor középpontját jellemző számok	18
I.2.2. Az adatok szóródását jellemző számok	18
I.2.3. A döntéshozatal	19
I.2.4. A normál (Gauss-) eloszlás	20
I.2.5. A változók mérési skálák szerinti osztályozása	21
I.3. Ábrázolási módok	21
I.4. Az egyváltozós statisztikai adatfeldolgozás alapjai	24
I.4.1. Paraméteres tesztek	24
I.4.1.1. Egymintás tesztek	24
I.4.1.2. Kétmintás próbák	26
I.4.1.3. Kettőnél több adatsort összehasonlító tesztek: varianciaanalízis (ANOVA)	31
I.4.2. Nemparaméteres tesztek	33
I.4.2.1. Kétmintás nemparaméteres tesztek	33
I.4.2.2. Kruskal–Wallis-teszt	36
I.5. Korrelációelemzés	37
I.6. Regressziószámítás	39
I.6.1. Egyszerű lineáris regresszió.	40
I.7. Többváltozós adatelemzés	45
I.7.1. Klaszterelemzés	45
I.7.2. Főkomponens-elemzés	47
I.7.3. Sokdimenziós skálázás	48
I.7.4. Többváltozós adatelemzés folytonos skálájú változókkal	53
II. Környezetvédelem.	59
II. 1. Az ivóvíz minőségét meghatározó paraméterek meghatározása és vizsgálata	59
II.2. Makrogerintelenek vizsgálatán alapuló patakvíz-minősítés	65
II.3. A levegő minőségét meghatározó paraméterek vizsgálata	69

II.4. Talajtani vizsgálatok	72
II.4.1. Talajfizikai vizsgálatok	74
II.4.1.1. A talajok mechanikai összetétele (szemcseméret-eloszlás), textúra vagy fizikai talajféleség vizsgálata	74
II.4.2. Talajkémiai vizsgálatok	78
II.4.2.1. A talajok kémhatásával kapcsolatos vizsgálatok	78
II.4.2.2. A szénsavas mésztartalom meghatározása	85
II.4.2.3. A talajok humusztartalom-meghatározása	88
II.5. Az ökológiai lábnyom	92
III. Alapvető mintavételezési és elemzési módszerek az agrár-ökoszisztémák vizsgálatában	95
III.1. Agrár-ökoszisztémákban előforduló ízeltlábú csoportok főbb gyűjtési módszerei	95
III.2. Növénytársulások tanulmányozásának alapjai	98
III.3. Densitás és diszpergáltságbecslés növénypopulációkban	105
III.4. Diverzitátszámítás	109
Irodalomjegyzék	113
Rezumat	119
Abstract	121
A szerzőkről	123

CUPRINS

Prefață	11
Protecția muncii: principalele reguli în cercetările ecologice	13
I. Cunoștințe metodologice de bază pentru realizarea corespunzătoare a cercetărilor în domeniul ecologiei și protecției mediului	15
I.1. Prezentarea pachetului de program statistic Past.	16
I.2. Cunoștințe de bază despre statistică	18
I.2.1. Valorile care caracterizează centrul șirului de date	18
I.2.2. Valorile care caracterizează distribuția datelor.	18
I.2.3. Procesul de luare a deciziilor	19
I.2.4. Distribuția normală (Gauss).	20
I.2.5. Clasificarea variabilelor în funcție de scala de măsurare.	21
I.3. Moduri de reprezentare.	21
I.4. Bazele prelucrării datelor statistice univariate	24
I.4.1. Teste parametrice	24
I.4.1.1. Teste pentru un singur eșantion.	24
I.4.1.2. Teste pentru două eșantioane.	26
I.4.1.3. Teste pentru compararea mai multor șiruri de date independente: analiza varianței (ANOVA)	31
I.4.2. Teste neparametrice	33
I.4.2.1. Teste neparametrice pentru două eșantioane	33
I.4.2.2. Testul Kruskal–Wallis	36
I.5. Corelația.	37
I.6. Regresia	39
I.6.1. Regresia lineară	40
I.7. Analiza multivariată a datelor	45
I.7.1. Analiza cluster	45
I.7.2. Analiza componentelor principale	47
I.7.3. Scalarea multidimensională	48
I.7.4. Analiza multivariată a datelor cu variabile continue	53
II. Protecția mediului.	59
II.1. Determinarea parametrilor de calitate a apei potabile	59
II.2. Evaluarea apelor curgătoare mici bazată pe studiul macroinvertebratelor	65
II.3. Studiul parametrilor de calitate a aerului.	69

II.4. Analize pedologice.	72
II.4.1. Examinări fizice a solului.	74
II.4.1.1. Investigarea compoziției mecanice a solurilor (distribuția dimensiunii particulelor), textura sau tipurile fizice a solurilor . . .	74
II.4.2. Examinări chimice a solului	78
II.4.2.1. Studii legate de pH-ul solurilor	78
II.4.2.2. Determinarea conținutului de carbonat de calciu în soluri.	85
II.4.2.3. Determinarea conținutului de humus în soluri	88
II.5. Amprenta ecologică	92
III. Metode de bază de eșantionare și analiză în studiul ecosistemelor agrare.	95
III.1. Principalele metode de colectare a grupurilor de nevertebrate prezente în ecosisteme agricole	95
III.2. Bazele studiului fitocenozelor	98
III.3. Estimarea densității și a dispersiei în populațiile de plante.	105
III.4. Calcularea diversității.	109
Bibliografie.	113
Rezumat	119
Abstract	121
Despre autori	123

TABLE OF CONTENTS

Foreword	11
Occupational Safety: Key Rules of Ecological Research	13
I. Fundamental Research Methodological Knowledge for Proper Implementation of Studies in Ecology and Environment Protection.	15
I.1. Introduction to the PAST Statistical Software Package	16
I.2. Statistical Fundamentals	18
I.2.1. Numbers Characterizing the Centre of the Dataset	18
I.2.2. Numbers Characterizing the Dispersion of Data	18
I.2.3. Decision Making	19
I.2.4. Normal (Gauss) Distribution	20
I.2.5. Classification of Variables According to Measurement Scales.	21
I.3. Modes of Representation.	21
I.4. Fundamentals of Univariate Statistical Data Processing	24
I.4.1. Parametric Tests	24
I.4.1.1. One-Sample Tests	24
I.4.1.2. Two-Sample Tests	26
I.4.1.3. Tests for Comparing More Than Two Independent Datasets: Analysis of Variance (ANOVA).	31
I.4.2. Non-parametric tests	33
I.4.2.1. Non-parametric Two-sample Tests.	33
I.4.2.2. Kruskal–Wallis Test.	36
I.5. Correlation.	37
I.6. Regression	39
I.6.1. Simple Linear Regression	40
I.7. Multivariate Data Analysis	45
I.7.1. Cluster Analysis.	45
I.7.2. Principal Component Analysis	47
I.7.3. Multidimensional Scaling	48
I.7.4. Multivariate Data Analysis with Continuous Scale Variables	53
II. Environmental Protection.	59
II.1. Examination of Drinking-Water Quality Parameters.	59
II.2. Stream Water Classification Based on Macroinvertebrate Assessment	65
II.3. Examination of Air Quality Parameters	69

II.4. Pedological Analyses	72
II.4.1. Soil Physical Examinations	74
II.4.1.1. Investigation of the Mechanical Composition of Soils (Particle-Size Distribution)	74
II.4.2. Soil Chemical Examinations	78
II.4.2.1. Studies Related to the pH of Soils	78
II.4.2.2. Determination of the Soil's Calcium Carbonate Content.	85
II.4.2.3. Determination of Soil Humus Content	88
II.5. Ecological Footprint	92
III. Basic Sampling and Analysis Methods in the Study of Agroecosystems	95
III.1. Main Collection Methods of Arthropod Groups Occurring in Agroecosystems	95
III.2. The Basics of Studying Plant Communities	98
III.3. Estimation of Density and Dispersion in Plant Populations	105
III.4. Diversity Calculation	109
Bibliography	113
Abstract	121
About the authors	123

ELŐSZÓ

Az *Ökológia és Környezetvédelem gyakorlati jegyzet* című kiadvány kifejezetten kertészmérnök és agrármérnök egyetemi hallgatók számára készült, annak érdekében, hogy mélyebb megértést nyújtson az ökológia és környezetvédelem különböző témaköreiben, és megkönnyítse a gyakorlati alkalmazásokat az agrár-környezetben.

A könyv célja, hogy segítse a jövő agrárszakembereit élő és élettelen környezetünk jobb megismerésében. A környezetünkkel kapcsolatos problémakör napjaink egyik legkritikusabb kihívása, melynek hatásai az egész bolygón érzékelhetőek. Az agrárkörnyezetben dolgozó szakembereknek kulcsszerepe van abban, hogy találjanak megoldásokat a fenntartható termelés és a környezetvédelem összehangolására.

Az első fejezet egy kifejezetten felhasználóbarát megközelítésű kutatómódszertani útmutató, amely segítséget nyújt a hallgatók számára a helyes adatgyűjtés és feldolgozás mikéntjébe. Ez a tudás minden ökológiával foglalkozó szakember számára alapvetően fontos, de ugyanakkor nagyon hasznos ismeret az agrárdóméniumban dolgozók számára is. A következő fejezetekben részletesen kitérünk különböző környezetvédelmi kérdésekre, illetve az agrárterületeken fontos ökológiai vizsgálatok gyakorlati oldalára. Megosztjuk azokat az ismereteket, amelyek segítségével a jövő agrárszakemberei jobban beleláthatnak a környezet tanulmányozásának módszertani kivitelezésébe.

Bízunk benne, hogy ez a gyakorlati jegyzet inspiráló és hasznos útmutatást nyújt az olvasóknak, ahogy lépéseket tesz a környezettudatos agrártevékenység felé. Reméljük, hogy a könyv által biztosított tudás hozzájárul ahhoz, hogy felelős és ökológiai szempontból is tudatos agrárszakemberként járuljon hozzá a jövő generációk boldogulásához.

Marosvásárhely, 2023. július 23.

MUNKAVÉDELEM: AZ ÖKOLÓGIAI KUTATÁSOK LEGFONTOSABB SZABÁLYAI

1. Az ökológiai kutatások laboratóriumban és terepen zajlanak. Bár ezen vizsgálatok sajátossága a kötetlenebb munkastílus, azonban ez nem jelenti a fegyelem és a komoly munka hiányát. Különös jelentősége van a csoportban való tevékenykedésnek, ugyanis egy adott területet az összes aspektus szempontjából nem tud megvizsgálni senki egymagában. Így aztán több ember együttes eredményéből fog a kutatás összeállni. Ezen szempontot figyelembe véve tudnunk kell, hogy a munkánk pontossága és megbízhatósága nemcsak magunknak, de a kollégáinknak is fontos, az egész kutatás jövője múlik minden egyes résztvevőn!

2. A terepi vizsgálatok alatt arra alkalmas, kényelmes, nem kényes öltözetet kell viselni. Figyelni kell a megfelelő lábbelire. Mindig legyen nálunk időjárásnak megfelelő ruházat. Legyen nálunk esőköpeny, és a nap elleni védelemről is gondoskodnunk kell (világos, minél vékonyabb fejfedő, fényvédő krém). Adott terepek megkövetelik a hosszúnadrágot, hosszú ujjú felsőt és a zárt lábbelit.

3. Csak azt végezzük el, ami a kijelölt feladat, de azt pontról pontra az előírásoknak megfelelően. A terepmunka alatt minél kisebb mértékben zavarjuk meg az élővilágot! Igyekezzünk egy kisebb területet minél több szempont szerint megvizsgálni.

4. A tevékenységek egy jó része laboratóriumi környezetben zajlik, ahol nagyon fontos a megfelelő biztonsági előírások betartása. A laboratóriumi tevékenységek alatt, a veszélyes anyagok (pl. növényvédő szerek) használatakor húzzunk mindig gumikesztyűt!

5. A laboratóriumban enni, inni tilos!

6. A különböző eszközöket csak rendeltetésszerűen használjuk! Elektromos berendezések használata során tartsuk be a biztonsági előírásokat!

7. A különböző anyagok, vegyszerek hevítése közben tartsuk be a biztonsági előírásokat! Soha ne használjunk nyílt láng mellett szerves oldószereket. Soha ne érintsünk működő melegítőberendezést, illetve felmelegített eszközt pusztán kézzel.

8. A laboratóriumban és terepen használt vegyszerek használata során tartsuk be a biztonsági előírásokat! Soha ne kóstoljuk meg a vegyszereket, pipettázás közben ügyeljünk, hogy ne kerüljenek a vegyszerek a szánkba, ne pipettázzunk szájjal! Vigyázzunk, hogy a vegyszerek ne kerüljenek a köpenyünkre, ruházatunkra! Bizonyos tevékenységek alatt ruházatunk védelme érdekében érdemes köpenyt használni.

I. ALAPVETŐ KUTATÁSMÓDSZERTANI ISMERETEK AZ ÖKOLÓGIA ÉS KÖRNYEZETVÉDELEM TEMATIKÁJÚ KUTATÁSOK MEGFELELŐ KIVITELEZÉSÉHEZ

Mint minden tudományos munka esetében, az ökológia és környezetvédelem témakörben végzett kutatási folyamatnál is alapvető a jól előkészített alapos munka. Ennek lépései a következők:

- elővizsgálat,
- kérdésfeltevés,
- hipotézisek és predikciók megalkotása,
- mérendő adatok kiválasztása,
- adatgyűjtés, majd a begyűjtött adatok elemzése (Précsényi et al. 2002; Sárbu–Benedek 2012).

Fontos és a kutatás sikerességét alapvetően meghatározó tényező minden természettudományos kutatásnál az alapos elővizsgálat, amely során megismerkedhetünk a vizsgálati objektum sajátosságaival, megfelelő képet tudunk alkotni ahhoz, hogy jó kérdéseket tehesünk fel, és ezeket adekvát módszerekkel tudjuk majd megválaszolni. A hipotézisek nagyon egyszerűen megfogalmazva olyan általános megvizsgálendő feltételezések, amelyek a kutatás elméleti kiindulópontjai lehetnek. Az ezek alapján megalkotott előrejelzések lesznek a predikciók (Précsényi et al. 2002; Sárbu–Benedek 2012). Fontos, hogy a predikciók tesztelhetőek legyenek a kiválasztott változók (pl. hajtáshossz, ezerszemtömeg, egyedszám, növényborítás stb.) mérése után.

Példák

Kérdés: Milyen tényezők befolyásolják a területtartó hangyafajok fajtársak iránt tanúsított agresszivitását?

Hipotézis: A területtartó hangyák egymáshoz viszonyulása függ a fészkeik közötti távolságtól.

Predikció: Az egymáshoz közelebb fekvő fészkek dolgozói agresszívebbek lesznek egymással, mint a távolabbi fészkekből származó dolgozók.

A munka elméleti előkészítése után jöhet a kísérlet (terepi vagy laboratóriumi) beállítása, amelynek során a predikciók teszteléséhez szükséges adatokat begyűjtjük. Az adatgyűjtés egy több lépésből álló folyamat, amely a mérendő változók és a mintavételi módszer kiválasztásával kezdődik. Szót kell ejtenünk a szükséges mintanagyság meghatározásáról is, amely alapvetően fontos a gyűjtött adataink

statisztikai tesztelhetőségének a szempontjából. Csakis megfelelő mennyiségű adatból érdemes statisztikai elemzést végezni. Természetesen az lenne az ideális, ha minden fellelhető tesztalanyról mintát tudnánk venni, de ez sok esetben kivitelezhetetlenül nagy munkamennyiséget jelentene. A kellő mintaelemszám meghatározásához nagy segítségünkre lehetnek különböző matematikai módszerek mellett saját elővizsgálataink vagy esetleg mások hasonló jellegű kísérletei. Mindenképpen akkora mintaelemszámmal kell dolgozni, hogy az adataink megbízhatóságához kétség se férjen (Katona et al. 2013; Précsényi et al. 2002; Sárbu–Benedek 2012; Southwood–Henderson 2000).

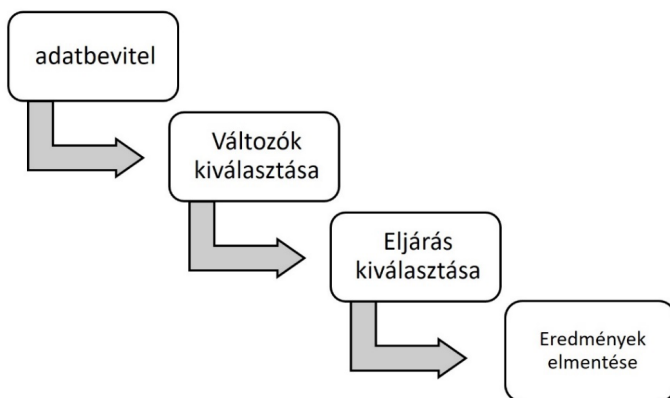
A mintavétel és a mérési adatok számítógépbe vitele után érkezünk el ahhoz a ponthoz, amit a jegyzet ezen fejezetében kibontani kívánunk, éspedig az adataink statisztikai elemzéséhez. Mivel rendkívül összetett jelenségeket vizsgálunk, az ökológiában néha óriási mennyiségű adattal dolgozunk, ezen adatok feldolgozásához pedig nélkülözhetetlen a statisztika. Alapvető fontosságú kimelni, hogy a fejezet célja kifejezetten egyszerű és felhasználóbarát módon tálni azon alapadatelemzési információkat, amelyre hallgatóinknak szükségük lehet.

I.1. A Past statisztikai programcsomag ismertetése

A PAST egy folyamatosan fejlesztett, ingyenesen használható és letölthető (<https://www.nhm.uio.no/english/research/infrastructure/past/> 2022), különböző statisztikai eljárások elvégzésére használatos, rendkívül egyszerű, felhasználóbarát program (Hammer–Harper–Ryan 2001). A programot letöltés után rögtön meg lehet nyitni, nem szükséges installálni. Azon alapszintű statisztikai eljárások elvégzésére, amelyekre egy kertész vagy agrármérnök-hallgatónak az alapképzésen szüksége lehet, néhány kivételt eltekintve alkalmas. A jelen gyakorlati jegyzet megírása közben eszközölt magyarázatok, ábrák, példák a 2023 májusában legfrissebbnek számító PAST4.13 verziót felhasználva készültek.

A Past programcsomagban történő adatfeldolgozás alapvető lépései (1. ábra) a következők:

1. adatbevitel (2. ábra): meg lehet nyitni Excel dokumentumot vagy át lehet másolni onnan, ha a nyers adatok tárolásának ezt a formáját alkalmazzuk. Természetesen be lehet egyenesen a programba írni az adatokat, majd ezeket is el lehet menteni. Megjegyzendő, hogy az egy adatsorhoz tartozó értékeket az oszlopokba kell beírni. Lehetőség van a „Column/Row attributes” kockákra kattintva a sorokat és az oszlopokat el is nevezni. Ezt a műveletet mindenképpen javasolt elvégezni!



1. ábra. A PAST-ban történő munkafolyamat időrendi sorrendje

csírahossz.dat

File Edit Transform Plot Univariate Multivariate Model Diversity Timeseries Geometry Stratigraphy Script Help

Show Row attributes Column attributes

Click mode Select Drag rows/columns

Edit Cut Copy Paste Select all

View Bands Binary Decimals: - Recover windows

	kontrol	10%	50%	100%	E	F	G	H	I
I. ismétlés	11	21	15	8					
I. ismétlés	12	22	16	9					
I. ismétlés	11	22	15	7					
I. ismétlés	13	21	16	8					
I. ismétlés	14	23	17	6					
I. ismétlés	11	20	18	7					
I. ismétlés	11	20	15	7					
II. ismétlés	12	19	16	6					
II. ismétlés	11	21	17	5					
II. ismétlés	11	21	18	4					
II. ismétlés	14	20	16	7					
II. ismétlés	11	19	19	8					
II. ismétlés	11	22	17	8					
II. ismétlés	11	21	18	9					
16									
17									

2. ábra. PAST adattábla

2. Változók kijelölése (megjegyzés: a régebbi változataiban a PAST programnak ezt a billentyűzet segítségével – shift+nyíl – kell megtenni, mert az egerrel történő kiválasztás csak az újabb változatokban működik!)

3. Eljárás kiválasztása: *Univariate/Multivariate/Model* stb. főmenü, majd rákattintunk a kívánt módszerre.

A program ábra készítésére is alkalmas. Ebben ez esetben a *Plot* gomb megnyomása után tudjuk kiválasztani a kívánt ábratípust.

4. Adatok mentése: a statisztikai tesztek eredményét át lehet másolni más dokumentumokba, attól függően, hogy milyen formátumban szeretnénk az eredményeket ábrázolni vagy tárolni (praktikusak ilyen szempontból a Microsoft Office/Libre Office/Open Office csomagok különböző file-típusai).

I.2. Statisztikai alapismeretek

Mielőtt továbblépünk, feltétlenül át kell venni néhány olyan alapvető statisztikai fogalmat, amelynek az ismerete szükséges lesz a soron következő feladatok elvégzéséhez, megértéséhez.

I.2.1. Az adatsor középpontját jellemző számok

- *Átlag* (jele: \bar{x}): a matematikai középárányos
- Adott a következő adatsor: 10 cm, 12 cm, 15 cm, 9 cm, 8 cm, 12 cm, 13 cm, 14 cm, 11 cm, 10 cm
- Átlag kiszámolása: $(10+12+15+9+8+12+13+14+11+10)/10 = 11,4$
- *Medián* (jele: *M*): egy adatsor közepe
- A medián kiszámolása, ha *páratlan* számból áll az adatsor: 10 cm, 12 cm, 9 cm, 8 cm, 12 cm, 13 cm, 14 cm, 11 cm, 10 cm
 - 11 adat van, a medián az $(1+11)/2 = 6$ -dik adat
 - 1. lépés: növekvő sorrendbe állítjuk: 8, 9, 10, 10, 11, 12, 12, 13, 14
 - 2. lépés: a medián az adatsor közepén található = 11
- A medián kiszámolása, ha *páros* számból áll az adatsor: 10 cm, 12 cm, 15 cm, 9 cm, 8 cm, 12 cm, 13 cm, 14 cm, 11 cm, 10 cm
 - 10 adat van a medián, az $(1+10)/2 = 5,5$ -dik adat, azaz a középső két adat (5-dik és 6-dik) átlaga
 - 1. lépés: növekvő sorrendbe állítjuk: 8, 9, 10, 10, 11, 12, 12, 13, 14, 15
 - 2. lépés: a medián a középső két adat (esetünkben az ötödik és a hatodik) adat átlaga lesz = 11,5

I.2.2. Az adatok szóródását jellemző számok

- a *szórás* (jele: *s*) mutatja, hogy mennyire térnek el az adatok átlagosan az átlagtól (Mayer 2021; Précsényi et al. 2002; Sárbu–Benedek 2012),

– *variancia* (jele s^2): a szórás négyezete (Mayer 2021; Précsényi et al. 2002; Sárbu–Benedek 2012).

Ezeket a jellemzőket a Past programcsomagban is egyszerűen ki lehet számítani a következő módon: adatok kijelölése → Univariate főmenü → Summary statistics (3. ábra).

The screenshot shows the Past software interface with the 'Univariate statistics' menu open. The 'Summary statistics' dialog box is displayed, showing a table of summary statistics for the variable 'kontrol'. The table includes the following data:

	kontrol	10%	50%	100%
N	14	14	14	14
Min	11	19	15	4
Max	14	23	19	9
Sum	164	292	233	99
Mean	11,71429	20,85714	16,64286	7,071
Std. error	0,3043381	0,3119796	0,3414118	0,384
Variance	1,296703	1,362637	1,631868	2,071
Stand. dev	1,138729	1,167321	1,277446	1,439
Median	11	21	16,5	7
25 prntil	11	20	15,75	6
75 prntil	12,25	22	18	8
Skewness	1,384238	-0,02072571	0,274116	-0,68
Kurtosis	0,5026377	-0,4390313	-0,9166597	0,171
Geom. mean	11,66636	20,82671	16,5977	6,916
Coeff. var	9,720856	5,596743	7,675641	20,35

3. ábra. Átlag-, medián-, szórás- és varianciaszámítás
Past programcsomaggal

Sok esetben találkozhatunk azzal a problémával, hogy el kell döntenünk, hogy két (vagy több) adatsor varianciája megegyezik-e. Két adatsor varianciájának az összehasonlítására szolgál az *F teszt* (két független adatsor), illetve a *variancia-analízis* (több független adatsor), amelynek ismertetését az I.4.1. fejezetben találjuk.

I.2.3. A döntéshozatal

Az adatok statisztikai elemzése során *statisztikai hipotéziseket* fogunk felállítani. Rendkívül fontos különbséget tenni az előzőekben tárgyalt tudományos hipotézis és a statisztikai hipotézis között. Míg az előző a munkánk elméleti váza lesz, ez utóbbi egy egyszerű matematikai állítás (például az első adatsorunk átlaga = a második adatsorunk átlagával) (Précsényi et al. 2002).

A statisztikai hipotézisnek két típusa van:

- *nullhipotézis* (H_0): példánkban ez azt állítja, hogy egyenlőség van,
- *alternatív hipotézis* (H_1): példánkban ez azt állítja, hogy nincs egyenlőség.

A *szignifikanciaszint* (jele: p) azt jelenti, hogy hány százalék annak a valószínűsége, hogy hibát követünk el, ha nem fogadjuk el a nullhipotézist. Valamennyire a kutató opciója, hogy milyen szignifikanciaszintet fogad el, de általában a legmagasabb szignifikanciaszint, amit ökológiában még elfogadunk, 0,05. Ez annyit jelent, hogy 5% esélyünk van a hibás döntés meghozatalára (= 100 esetből 5-ször

fogunk tévedni). Amennyiben ennél nagyobb értékű (akár 0,051) szignifikanciaszint jön ki egy teszt elvégzése után, akkor az adott teszttel vizsgált nullhipotézisünket elfogadjuk igaznak.

I.2.4. A normál (Gauss-) eloszlás

A matematika számos elméleti eloszlástípust ír le, ezen jegyzetnek nem feladata (és nem is célja) ezek ismertetése, elsajátíttatása. Ezen eloszlástípusok között van egy olyan, nevezetesen a normál (más néven Gauss-féle) eloszlás, amelynek ismerete, pontosabban felismerése különösen fontos a helyes statisztikai adatfeldolgozás kivitelezésének szempontjából. Ennek fő oka az, hogy a statisztikai tesztek kiválasztásánál az egyik első eldöntendő kérdés az, hogy az adataink normál eloszlásúak-e. Ha normál eloszlású egy adatsor, az azt jelenti, hogy az adatok nagy többsége az átlag körül fog tömörülni (D'Agostino 1986; Reiczigel–Harnos–Solymosi 2007). Mielőtt tehát belefognánk bármilyen statisztikai elemzésbe, teszteljük az adataink normál eloszlását!

A normál eloszlás tesztelése (4. ábra) különböző statisztikai tesztekkel (pl. Shapiro–Wilk) történhet (Précsényi et al. 2002). Ezek a tesztek általában adat-sorunknak a normál eloszláshoz való illeszkedését vizsgálják (Précsényi et al. 2002; Reiczigel–Harnos–Solymosi 2007).

– H₀: az adatsorunk eloszlása megegyezik a normál eloszlással (= ha az adatsor *normál* eloszlású, a szignifikanciaszint (p) nagyobb lesz, mint 0,05),

– H₁: az adatsorunk eloszlása nem egyezik meg a normál eloszlással (= ha az adatsor *nem normál* eloszlású, a szignifikanciaszint (p) kisebb, mint 0,05).

Nagy segítség tud lenni a gyakorlatban, hogy a PAST a nem normál eloszlású adatsoroknál a 0,05-nél kisebb szignifikanciaszinteket be fogja satírozni rózsaszínnel.

	kontrol	10%	50%	100%
N	14	14	14	14
Shapiro-Wilk W	0,6724	0,9361	0,9186	0,9291
p(normal)	0,0001941	0,3703	0,21	0,2966
Anderson-Darling A	2,079	0,4553	0,4756	0,4451
p(normal)	1,291E-05	0,2273	0,2011	0,2415
p(Monte Carlo)	0,0001	0,2357	0,2053	0,2435
Lilliefors L	0,3776	0,1916	0,1926	0,1945
p(normal)	0,0001	0,1715	0,1658	0,1557
p(Monte Carlo)	0,0001	0,1725	0,1673	0,1601
Jarque-Bera JB	3,54	0,2843	0,7462	0,9148
p(normal)	0,1704	0,8675	0,6886	0,6329
p(Monte Carlo)	0,0421	0,8489	0,5234	0,4042

4. ábra. Különböző adatsorok normalitásának tesztelése
Past programcsomag segítségével

I.2.5. A változók mérési skálák szerinti osztályozása

Rendkívül fontos annak eldöntésére, hogy melyik eljárást alkalmazzuk (Précsényi et al. 2002; Reiczigel–Solymosi 2007). Az alábbiakban a Reiczigel és munkatársai (2007) által bemutatott osztályozást fogjuk ismertetni.

I. Kvalitatív változók

1. nominális változók: csak megnevez, kategorizál, leír (= mennyiségi összefüggések nincsenek, nem lehet azt mondani, hogy az egyik kategória „nagyobb”, mint a másik)
 - pl. szemszín: kék, zöld, barna
 - a skálaérték előfordulásának a gyakorisága vizsgálható!!
2. ordinális változó: szintén csoportokba sorol, de az osztályoknak már konkrét sorrendjük van
 - pl. bonitálás (bizonyos értékmérő tulajdonságok szerinti rangsorolás)
 - a skálaérték előfordulásának a gyakorisága vizsgálható!!

II. Kvantitatív változók

1. diszkrét változók: az összes lehetséges értékét fel tudjuk sorolni (a lehetséges értékek általában egész számok)
 - pl.: egyedszám
 - 0 és 10 között pl. 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 lehetséges, más értékek nem (0,5 egyed nincs!)
2. folytonos változók: a lehetséges értékek száma gyakorlatilag végtelen
 - pl.: hajtáshossz
 - 0 és 10 között bármilyen érték lehetséges: 0, 0,000001, 0,1, 0,99, (pl. 1,5 cm hosszú hajtás)

Feladat

A megadott változók csoportosítása aszerint, hogy milyen mérési skálába tartoznak: virágszín, fertőzöttségi arány, C-vitamin-tartalom, termésmennyiség, hajtáshossz, virágátmérő, hajtásszám, virágszám, levélszélesség, klorofilltartalom.

I.3. Ábrázolási módok

A fontosabb eredményeinket jelentő adatsorainkat ezek bemutatásakor célszerű ábrázolni is. A választott ábra típusa elsősorban az adatok feldolgozásához használt módszertől függ. A különböző típusú diagramokat az adatok kijelölése után a „Plot” főmenüből érhetjük el (5. ábra).

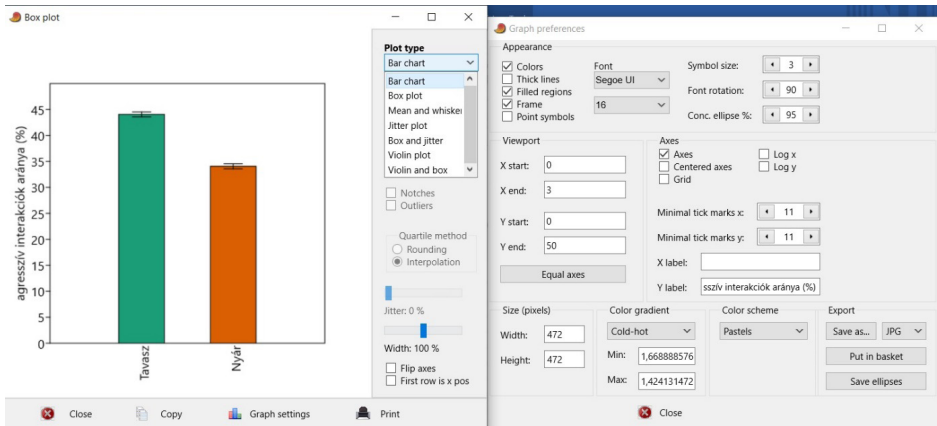
A leggyakrabban használt ábratípusok:

– *Hisztogram*: az egyes értékek frekvenciáinak eloszlása ábrázolható így. Folytonos skálájú adatsorok esetén néha informatívabb az egyszerű átlag ábrázolásánál

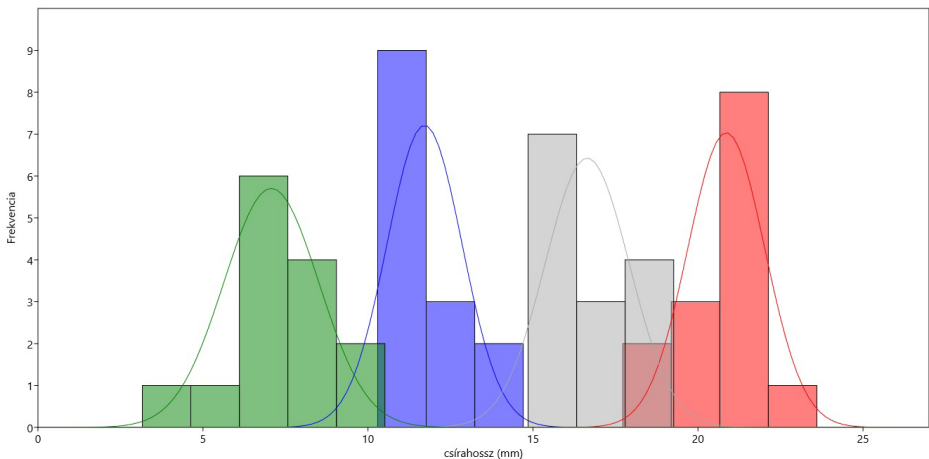
az, ha hisztogramokat készítünk. Az adataink az ábrán érték kategóriák szerint lesznek ábrázolva, és az egyes érték kategóriákba tartozó adatok száma lesz ábrázolva a hisztogram oszlopaiban (6. ábra).

– *Oszlopdiaagram*: egy érték ábrázolására használhatjuk (7. ábra). A Past programban az adatsor átlagát tudjuk megjeleníteni így bizonyos paraméteres statisztikai tesztek (lásd I.4.1. fejezet) eredményének grafikus megjelenítésekor.

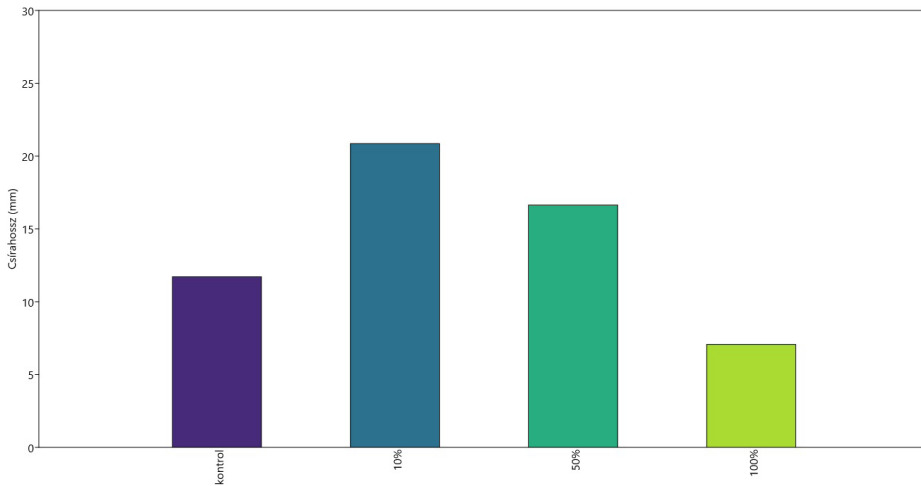
– *Kvartilis ábra (boxplot)*: nagyon informatív ábratípus, az adatsor öt jellemzőjét olvashatjuk le róla: minimum, maximum, alsó és felső kvartilis és a medián (8. ábra). Ahogy az előbbi részben említettük, a medián a minta felezőpontja, a kvartilisek negyedelőpontok. Többek között bizonyos nemparaméteres tesztek (lásd I.4.2. fejezet) grafikai megjelenítését tudjuk ezzel megoldani.



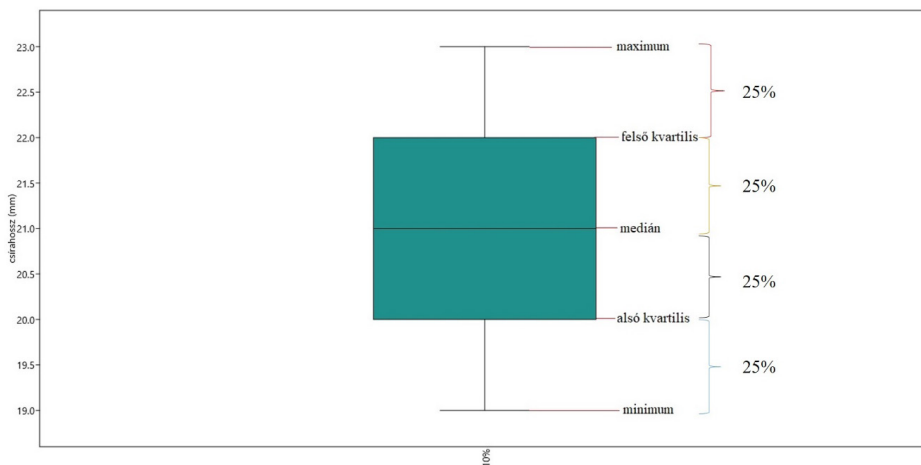
5. ábra. Oszlopdiaagram elkészítése



6. ábra. Hisztogram



7. ábra. Oszlopdiaagram



8. ábra. Kvartilis (boxplot) ábra. A medián félbe, majd az alsó és felső kvartilisek a feleket újra félbe osztják, így az adatsort alkotó számok a minimum, az alsó kvartilis, a medián, a felső kvartilis és a maximum pontok által határolt szakaszok közt osztódnak el oly módon, hogy minden egyes szakasz az adatok 25%-át tartalmazza

– Pontdiagram (scatterplot): az adataink pontfelhőként való ábrázolására szolgál.

A diagramok (például az oszlopdiaagram) készítését a következő úton érjük el:

Adatok kijelölése → Plot főmenü → Barchart/Boxplot (de hasonló módszerrel

készülhet el bármilyen más típusú ábra is). Itt, a Plot type almenü segítségével,

több ábratípust érhetünk el, köztük a két leggyakrabban használtat, az oszlopdiagramot (bar chart) és a kvartilis ábrát (boxplot) is. Ezeket a készülő ábra jobb felső sarkában található menüsorból tudjuk kiválasztani. Az ábrát a „copy” gomb megnyomásával tudjuk kimásolni, de ki is lehet menteni különböző formátumokban a „graph settings” opció kiválasztása után, a „save as” funkcióval. Ugyanitt tudjuk az ábránk különböző tulajdonságait (betűméret, színek, tengelyfeliratok stb.) módosítani (5. ábra).

I.4. Az egyváltozós statisztikai adatfeldolgozás alapjai

Ebben az alfejezetben olyan statisztikai eljárásokat mutatunk be, amelyekben az adatsorok olyan kísérletsorokból származnak, ahol variánsokként egy kezelés hatását vizsgáljuk. A továbbiakban bemutatott statisztikai eljárásokat két csoportba osztjuk: paraméteres és nemparaméteres tesztek (1. táblázat). A paraméteres tesztek statisztikai értéke sokkal nagyobb, de a nemparaméteres tesztek előfeltételei nem annyira szigorúak. A paraméteres tesztek mindig csak normál eloszlású és folytonos skálájú adatsorokon lehet alkalmazni, míg a nemparaméteres teszteknek ez nem előfeltétel.

1. táblázat. *A jegyzetben taglalt paraméteres és nemparaméteres statisztikai eljárások*

	Paraméteres	Nemparaméteres
Egy adatsor	t teszt	Egymintás előjelteszt
Két összetartozó adatsor	Páros t teszt	Wilcoxon-féle előjelteszt
Két független adatsor	Kétmintás t teszt	Mann–Whitney-teszt
Több független adatsor	ANOVA (valamilyen típusa)	Kruskal–Wallis-teszt

I.4.1. Paraméteres tesztek

A paraméteres teszteknek két, együttesen teljesülendő előfeltétele van:

1. *Normál eloszlás* (ezért az első lépés minden paraméteres teszt alkalmazásakor a normalitás tesztelése, lásd I.2.3. fejezet)
2. *Folytonos skála* (lásd I.2.5. fejezet)

I.4.1.1. Egymintás tesztek

Egymintás tesztek használhatunk akkor, ha egy feldolgozásra váró adatsorunk van.

Egymintás t-próba: Annak eldöntésére alkalmas, hogy a minta származhat-e egy adott átlagú populációból, a mi adatsorunk átlaga (\bar{x}) mennyire hasonlít egy adott értékhez (μ) (Précsényi et al. 2002).

$$H_0: \bar{x} = \mu$$

$$H_1: \bar{x} \neq \mu$$

The screenshot shows the PAST software interface. The 'Univariate' menu is open, highlighting 'One-sample tests (t, Wilcoxon, single-case)'. Below it, the 'One-sample tests' dialog box is displayed, showing the following data and results:

Given mean:	50	Given mean:	50
Sample mean:	49,708	Given mean:	50
95% conf. interval:	(49,081 50,336)	Compute	
Difference:	0,29167		
95% conf. interval:	(-0,33583 0,91916)		
t:	-1,023		
p (same mean):	0,32826		
Means are not significantly different			

9. ábra. a) Egymintás t teszt elérése a PAST programban.
b) Egymintás t teszt eredménytábla

Feladat

Egy gyógynövény teamárka dobozai 50 gramm teafüvet kell tartalmazzanak. A dobozokba néha egy kicsit több, néha egy kicsit kevesebb tea kerül. Kíváncsiak vagyunk rá, hogy kimondható-e, hogy ennek a teamárkának a dobozai valóban statisztikailag is 50 gramm mennyiséget tartalmaznak. Ennek érdekében megmérjük több különböző doboz tartalmának a súlyát.

Végezzük el az alábbi adatsoron az egymintás t tesztet a kérdés megválaszolására! Ne felejtjük el előzetesen az adatsor normalitását tesztelni!

50 g, 51 g, 49,5 g, 49 g, 48 g, 50 g, 50 g, 49,5 g, 48 g, 50 g, 51 g, 50,5 g

A teszt elvégzése után kiderült, hogy a szignifikanciaszint (p) = 0,094, ami azt jelenti, hogy a teásdobozok tartalma statisztikai szempontból nem különbözik az elvárt 50 grammtól (9. ábra).

I.4.1.2. Kétmintás próbák

A kétmintás tesztek akkor kell alkalmazni, ha két összehasonlítandó adatsorunk van. Ez a két adatsor lehet összetartozó (amikor a mérések ugyanazonokon a tesztalanyokon történtek) vagy független (amikor a mérések különböző tesztalanyokon történtek). Páros adatokat összehasonlító tesztek közül a jegyzet páros t tesztet, a független adatsorokat összehasonlító tesztek közül az F tesztet, illetve a kétmintás t tesztet tárgyalja.

A PAST program által elvégzett összes olyan tesztjét, ami két független adatsort hasonlít össze, egy helyen találjuk (10. ábra).

a) F teszt:

Két független adatsor varianciáját hasonlítja össze. Olyankor lehet szükségünk rá például, amikor egy másik teszt alkalmazása az adatsorok varianciájától függ.

$$H_0: s^2_1 = s^2_2$$

$$H_1: s^2_1 \neq s^2_2$$

Feladat

Az *Echinacea purpurea* (bíbor kasvirág) magok csírázó képességének fokozására egy kutató 2 hetes hidegkezelést alkalmaz. 21 nap után, több paraméter mellett, megméri a csíranövénykéek hajtáshosszát is.

Az alábbi adatsorokat kapta (az adatok centiméterben vannak kifejezve):

– Kontroll: 12, 12,2, 11,3, 14,4, 15, 14,1, 10, 9, 10,2, 11

– Hidegkezelt 15, 14, 14,2, 15,3, 15,3, 12, 15, 16,1, 14,2, 13

Állapítsuk meg, hogy különbözik-e az adatsorok varianciája (erre többek között azért is szükség van, mert több teszt esetében a varianciák egyenlősége előfeltétel).

A teszt elvégzése után kiderül, hogy a szignifikanciaszint (p) = 0,141, ami azt jelenti, hogy a két minta varianciája nem különbözik (10. ábra).

The screenshot shows the PAST software interface. The 'Univariate' menu is open, and 'Two-sample tests' is selected. A dialog box titled 'Two-sample tests' is displayed, showing the 'F test for equal variances' results. The dialog box includes a table of statistics for two groups: 'kontroll' and 'hidegkezelés'.

kontroll		hidegkezelés	
N:	10	N:	10
Variance:	4,0973	Variance:	1,4654
F:	2,796	p (same var.):	0,14162
Critical F value ($p=0.05$):	4,026	p (same var.):	0,054
Monte Carlo permutation:		p (same var.):	0,056399
Exact permutation:			

The dialog box also includes a 'Permutation N' field set to 9999 and a 'Recompute' button. The bottom of the dialog box has 'Close', 'Copy', 'Print', and 'Help' buttons.

10. ábra. a) Az F teszt elérése a PAST programban. b) F teszt eredménytábla

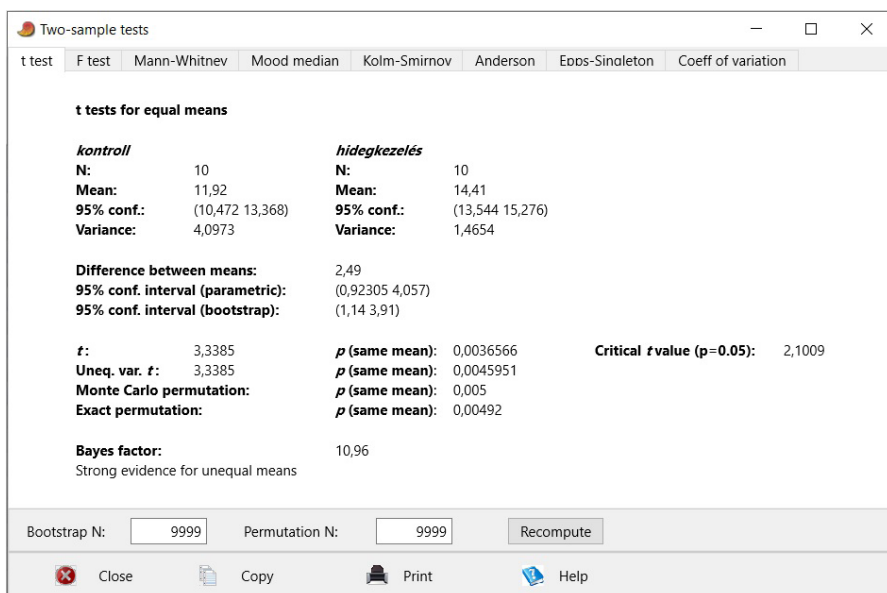
b) A kétmintás t próba feltétele, hogy az adatsorok függetlenek legyenek (tehát a két összehasonlítandó adatsor különböző vizsgálati objektumokról származzon). A tesztet annak érdekében végezzük el, hogy kiderüljön, hogy két függetlenül mintázott populáció átlaga megegyezik-e. A PAST egyenlő és nem egyenlő varianciájú adatsorok átlagának összehasonlítására egyaránt lehetőséget nyújt (11. ábra). Ahogy az előzőekben láttuk ezt a feltételt, F teszt segítségével tudjuk ellenőrizni.

$$H_0: \text{átlag}_1 = \text{átlag}_2$$

$$H_1: \text{átlag}_1 \neq \text{átlag}_2$$

Feladat

1. Az *Echinacea purpurea* (bíbor kasvirág) magvai csírázó képességének vizsgálatáról szóló, az F tesztnél megadott feladat adatsorait elemezzük tovább. A kérdés, hogy van-e hatása a hidegkezelésnek a csíranövények hosszára? Ennek megállapítására össze kell hasonlítanunk az adatsoraink átlagát. Mivel a szignifikanciaszint (p) = 0,003, kijelenthetjük, hogy a két adatsor átlaga statisztikai szempontból is különbözik, a hidegkezelt csíranövények hajtáshosszának az átlaga nagyobb lett (11. ábra).



11. ábra. Kétmintás t teszt eredménytábla

Az ilyen típusú, átlagokat összehasonlító paraméteres tesztek eredményeinek a megjelenítése a különböző tudományos munkákban (legyen az írott forma vagy bemutató) oszlopdiagram formában szokott történni. Az ábrák alatti feliratban, zárójelben mindig fel kell tüntetni az elvégzett teszt típusát, a mintaelemszámot (ez azt jelenti, hogy hány számból áll az adatsor, jele N), a próbastatisztika (a t tesztek esetén ennek a jele t) értékét és a szignifikanciaszint értékét (12. ábra).

c) Páros t próba

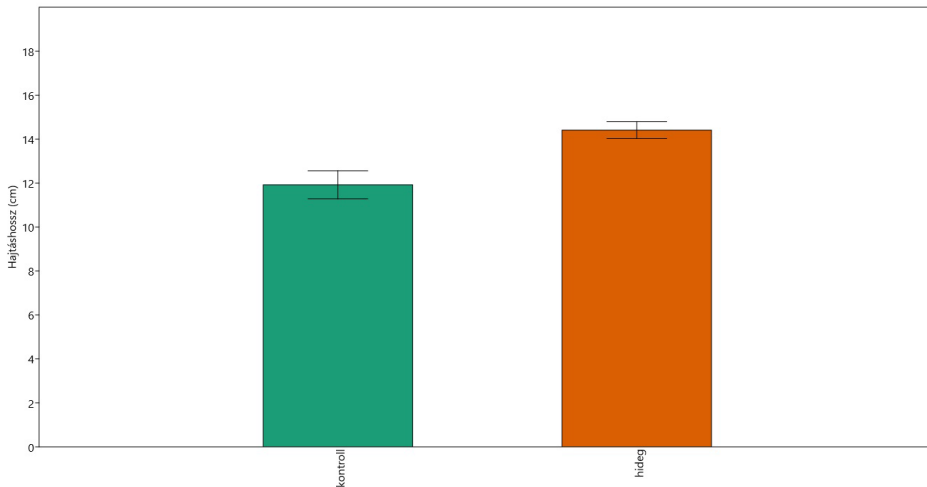
Ebben az esetben a minta két összetartozó párból áll. Ilyenkor mérésorozatot végeztünk *ugyanazon* tesztalanyokon:

- a kezelés előtt/kezelés után,
- tavasszal/nyáron,
- különböző években,
- különböző helyszíneken.

Azt teszteljük, hogy a különböző helyzetekben változott-e a vizsgált alanyról származó mérések adatsorainak átlaga (Précsényi et al. 2002).

$$H_0: \text{átlag}_1 = \text{átlag}_2$$

$$H_1: \text{átlag}_1 \neq \text{átlag}_2$$



12. ábra. Kétmintás *t* teszt ábrázolási módja. *Ábra címe: Kontroll és hidegkezelésben részesített magokból kikelt csíranövények hajtáshosszai.*

Zárójelben feltüntetendők a következő adatok: elvégzett teszt neve: Kétmintás *t* teszt, mintaelemszám: $N=10$, próbastatisztika értéke: $t=3,33$, szignifikanciaszint: $p=0,003$

Feladat

Erdei vöröshangyák agresszivitását teszteli egy kutató különböző évszakokban. Ennek érdekében ugyanazon kolóniák egyedei között végez agresszivitásteszteket tavasszal és nyáron. Azt számolja, hogy hány találkozás zajlott le a tesztelt hangyák között, és ezek közül hány végződött agresszív interakcióval, a kapott számokból százalékot számít (az interakcióknak hány százaléka volt agresszív). Melyik évszakban agresszívabbak a hangyák? Az alábbi adatsorokat kapta:

Tavasz: 44%, 48%, 42%, 43%, 44%, 45%, 42%, 42%, 44%, 45%, 47% 46%, 44%, 43%, 42%

Nyár: 38%, 34%, 33%, 32%, 35%, 34%, 32%, 32%, 35%, 34%, 36%, 37%, 33%, 34%, 33%

Hasonlítsuk össze a megadott adatsorok átlagát páros *t* teszttel!

Ahogy azt az eredménytáblában is látjuk, a példában megadott két adatsor átlaga között szignifikáns különbség van, mert a szignifikanciaszint jóval kisebb, mint 0,05 (12. ábra). A tavaszi agresszivitástesztekből származó adatsor átlaga

44,067, a nyáriaké 34,133. Mindebből az következik, hogy tavasszal agresszívabbnak bizonyultak a hangyák, mint nyáron.

A program egyszerre végzi el a páros t tesztet és ennek a nemparaméteres variánsát, a Wilcoxon-féle tesztet is.

The screenshot shows the PAST software interface with the 'Two-sample paired tests' dialog box open. The dialog displays the following data and test results:

Tavaszi		Nyári	
N:	15	Mean:	34,133
Mean:	44,067	Median:	34
Median:	44		

t test		
Mean difference:	9,9333	95% conf.: (8,9636 10,903)
t:	21,969	p (same mean): 3,0006E-12
Exact:		p (same mean): 6,1035E-05

Bayes factor: 2,027E09
Decisive evidence for unequal means

Sign test		
r:	15	p (same median): 6,1035E-05

Wilcoxon test:		
W:	120	
Normal appr. z:	3,4469	p (same median): 0,00056704
Monte Carlo (n=99999):		p (same median): 9E-05

13. ábra. Páros t teszt elvégzése PAST programban. Páros t teszt eredménytáblája

I.4.1.3. Kettőnél több adatsort összehasonlító tesztek: varianciaanalízis (ANOVA)

Több esetben előfordul, hogy kettőnél több adatsor átlagát kell összehasonlítanunk. Ilyenkor használhatjuk a varianciaanalízist (**A**nalysis **O**f **V**ariances angol név rövidítése után ANOVA-ként emlegetjük).

H_0 : az átlagok homogének (egyformák)

H_1 : az átlagok nem homogének

A varianciaanalízis a paraméteres tesztek általános feltételein kívül további feltételeket támaszt a felhasználó elé:

- adatsorok függetlensége – egyes mintaelemek egymástól függetlenek legyenek,
- a varianciák homogenitása: ezt az ANOVA-eredménytáblán a Levene-teszt segítségével ellenőrizhetjük (ha $p < 0,05$, akkor a homogenitás feltétele teljesül). Ha a homogenitás feltétele nem teljesül, akkor az eredménytáblán a Welch F test eredményét fogjuk figyelembe venni (14. ábra).

Lépések:

1. Megállapítjuk, hogy a három adatsor átlaga különbözik-e vagy sem.
2. Megállapítjuk, hogy melyik adatsor különbözik melyiktől. Ez a folyamat post hoc-tesztekkel történik. Két általánosan elterjedt változata van különböző és egyforma szórású adatsorok esetén: egyforma szórású adatsorok esetén Tukey-teszttel végezzük a post hoc-összehasonlítást, különböző szórású adatsorok esetén pedig Games–Howell-tesztet kell használni.

Sajnos a PAST program a jegyzet írásának idején nem kínál fel több alternatívát, kizárólag a Tukey-teszttel végzi a post hoc-összehasonlítást.

Feladat

Borsmenta mikroszaporítása során a hajtások hosszanti növekedésének a serkentésére kétféle hormont: indol-vajsavat (IVS) és indol-ecetsavat (IES) használnak. Kontrollként hormonmentes táptalajon növekedett növényeket használnak. 6 hét után megméri a növények hajtáshosszát, és az alábbi adatsorokat kapják:

- kontroll: 8 cm, 8,5 cm, 8,8 cm, 7,5 cm, 8 cm, 7 cm, 6 cm, 4 cm, 10 cm, 8,7 cm, 8,2 cm, 7,3 cm, 7,1 cm, 6 cm, 6,6 cm, 9,1 cm, 7 cm, 7 cm, 6,5 cm, 7 cm
- IVS: 10 cm, 12,5 cm, 18,8 cm, 17,5 cm, 10 cm, 15 cm, 16 cm, 14 cm, 13 cm, 12,7 cm, 10,2 cm, 17,3 cm, 17,1 cm, 16 cm, 10,6 cm, 9,1 cm, 15 cm, 14 cm, 15 cm, 17 cm
- IES: 12 cm, 13,5 cm, 18,8 cm, 17,5 cm, 11 cm, 15 cm, 16 cm, 14 cm, 14 cm, 13,7 cm, 12,2 cm, 17,3 cm, 17,1 cm, 16 cm, 12,6 cm, 11,1 cm, 15 cm, 14 cm, 15 cm, 17 cm

Melyik kezelés a leghatásosabb?

Test for equal means

	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p (same)
Between groups:	643,008	2	321,504	63,02	3,632E-15
Within groups:	290,802	57	5,10178		Permutation p (n=99999)
Total:	933,81	59			1E-05

Components of variance (only for random effects):

Var(group):	Var(error):	ICC:
15,8201	5,10178	0,756151

Levene's test for homogeneity of variance, from means p (same): 0,00223
Levene's test, from medians p (same): 0,002928

Welch F test in the case of unequal variances: F=98,22, df=34,25, p=6,535E-15

14. ábra. Az ANOVA-teszt elvégzése PAST programban (a) és az ANOVA-eredménytábla (b)

A teszt elvégzése után a Levene-teszt eredményeiből látjuk, hogy a szórások nem homogének, tehát a Welch F teszt eredményét vesszük figyelembe. A szignifikanciaszint (p) = 0,002, ami azt jelenti, hogy az adatsorok nem egyformák (14. ábra). Azt, hogy hol keressük a különbségeket, a post hoc Tukey-teszt eredményeiből tudjuk meg (15. ábra): a kontroll különbözik mindkét kezeléstől, de azok nem különböznek egymástól.

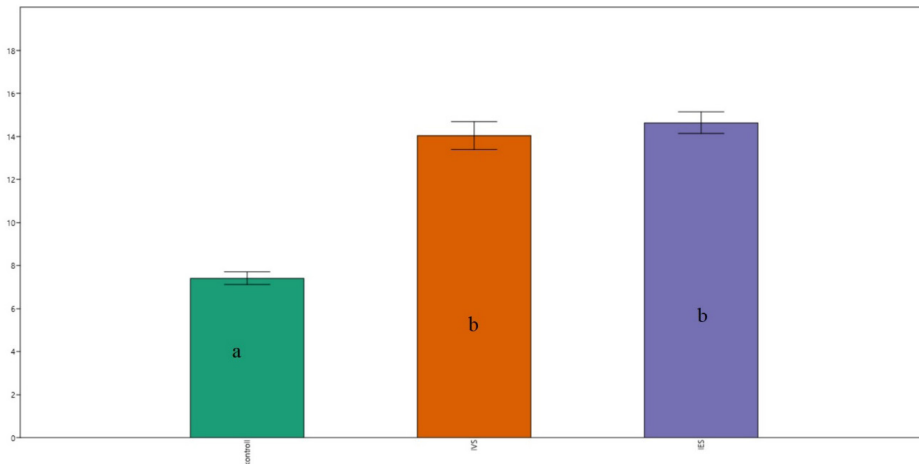
Tukey's Q below the diagonal, p(same) above the diagonal.
Significant comparisons are pink.

Copenhaver-Holland 1988

	kontroll	IVS	IES
kontroll		1,287E-11	1,129E-11
IVS	13,12		0,6799
IES	14,31	1,188	

15. ábra. A Tukey post hoc-teszt eredménytáblája

Az eredményeket ebben az esetben is oszlopdiagrammal ábrázoljuk, a különbségeket kódolással fogjuk jelölni: ha két adatsor (a kezelések) közt különbség van, az őket ábrázoló oszlopokra különböző kódok (különböző betűk) kerülnek, ha nem különböznek az adatsorok, a kódok (az oszlopokra kerülő betűk) azonosak (16. ábra).



16. ábra. Az ANOVA ábrázolási módja

I.4.2. Nemparaméteres tesztek

A paraméteres tesztek előnye, hogy nem követünk el hibát a próbafeltételek nem teljesülése miatt. A nemparaméteres próba viszonylagos ereje nagyobb, mint a (korrektül nem alkalmazható) paraméteres próba ereje. Nem normál eloszlású és diszkrét skálájú adatok esetében is lehet alkalmazni.

I.4.2.1. Kétmintás nemparaméteres tesztek

a) Wilcoxon-féle előjelteszt

Ez a próba tulajdonképpen a páros t teszt nemparaméteres variánsa, akkor használható, ha az adatsoraink páros megfigyeléseken alapulnak, de nem teljesül a paraméteres tesztek alkalmazásának valamelyik felétele. A két összetartozó adatsor mediánját hasonlítja össze (tehát az adatpárok ugyanazokon az alanyokon lettek mérve két különböző időpontban).

$$H_0: \text{medián}_1 = \text{medián}_2$$

$$H_1: \text{medián}_1 \neq \text{medián}_2$$

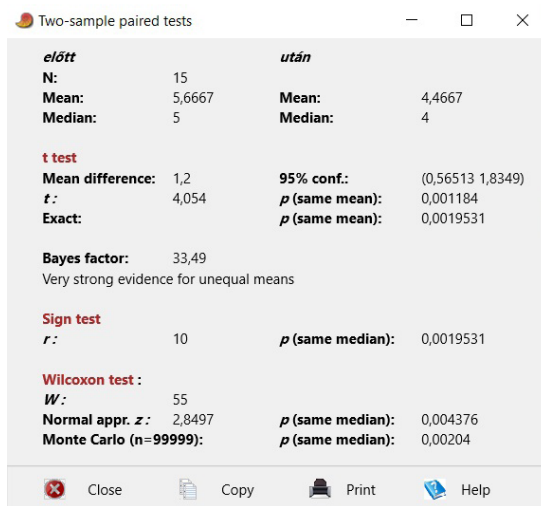
Feladat

Egy városi park rózsáit bundásbogarak támadják meg. A terület gondozásával megbízott dolgozó egy új rovarölőszerrel igyekszik távoltartani a kártevőket a rózsáktól. Minden rózsán megszámolja a bogarakat kezelés előtt és kezelés után. Használt-e a kezelés?

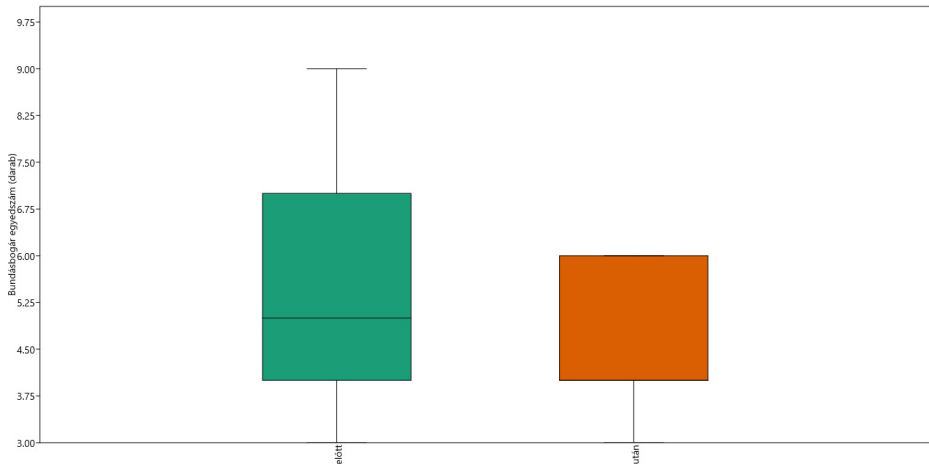
Bundásbogár-egyedszámok:

Kezelés előtt: 4, 6, 7, 5, 5, 6, 6, 9, 4, 4, 3, 5, 5, 7, 9

Kezelés után: 3, 5, 6, 4, 5, 5, 6, 6, 4, 4, 5, 4, 5, 4, 6



17. ábra. A Wilcoxon-teszt eredménytáblája



18. ábra. A Wilcoxon-teszt ábrázolási módja

Az eredménytáblát megvizsgálva látjuk, hogy a szignifikanciaszint (p) = 0,004, ami azt jelenti, hogy a kezelés előtti és a kezelés utáni adatsor statisztikai szempontból különbözik, látjuk is, hogy a kezelés előtti adatsor mediánja 5, míg a kezelés utánié 4 (17. ábra). A nemparaméteres tesztek eredményeinek a megjelenítése a különböző tudományos munkákban kvartilis ábrával (boxplot) szokott megtörténni (18. ábra).

b) A Mann–Whitney-teszt

Két, egymástól függetlenül mintavételezett adatsor mediánját hasonlítja össze, megfelel a paraméteres kétmintás t tesztnek!

$$H_0: \text{medián}_1 = \text{medián}_2$$

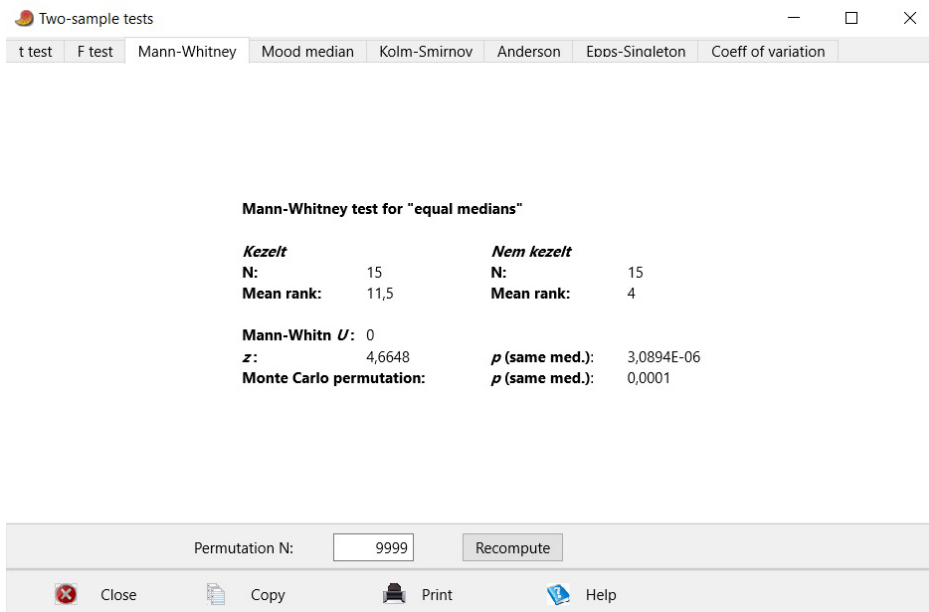
$$H_1: \text{medián}_1 \neq \text{medián}_2$$

Feladat

Egy biotechnológus egy új, meta-Topolin nevű citokinint (növényi hormont) szeretne kipróbálni az *Artemisia annua* gyógynövény mikroszaporításánál. A kísérlet során a hormon hajtássokszorozó hatását vizsgálta, megszámolta az időegység alatt keletkező új hajtások számát egy kezelt és egy nem kezelt állományon. Van-e hajtássokszorozó hatása a hormonnak, ha az alábbi adatsorokat kapta:

kezelt: 15, 16, 15, 17, 10, 18, 18, 19, 15, 16, 18, 19, 17, 10, 14

nem kezelt: 4, 4, 5, 2, 5, 4, 4, 6, 5, 2, 3, 6, 2, 5, 1



19. ábra. Mann–Whitney-teszt eredménytáblája

Az eredménytáblán (19. ábra) láthatjuk, hogy a szignifikanciaszint (p) jóval kisebb, mint 0,05, tehát a két kezelés közt szignifikáns különbség van. Az eredményeket itt is javasolt ábrázolni, ha ezt választjuk, mindenképpen kvartiklis ábrát válasszunk.

1.4.2.2. A Kruskal–Wallis-teszt

Az eljárás célja összehasonlítani 3 vagy több egymástól független, egyváltozós adatsort. További feltétel itt is a véletlen mintavétel.

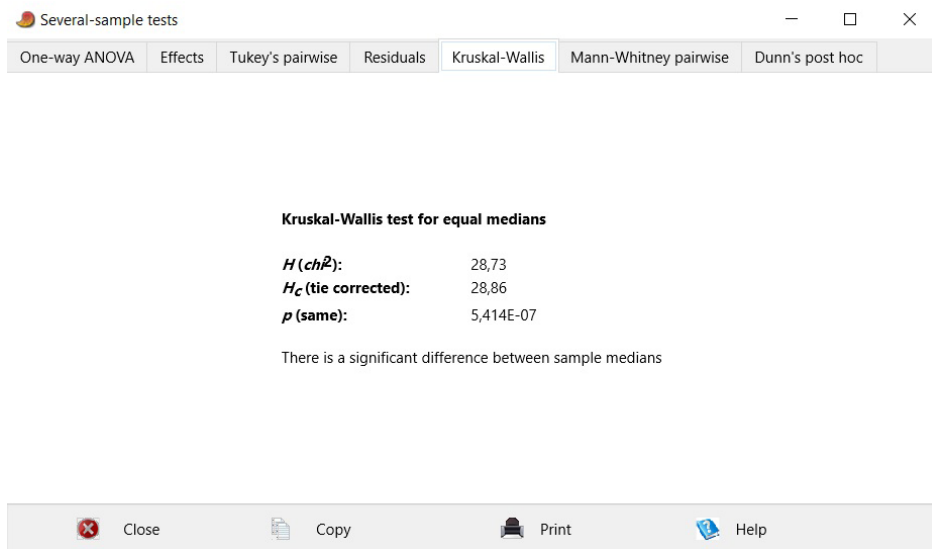
H_0 : a mediánok homogének (egyformák)

H_1 : a mediánok nem homogének

Ez az eljárás az ANOVA nemparaméteres változata, és ehhez hasonlóan az egyes adatsorok közti különbséget post hoc-teszt elvégzésével fogjuk tudni ellenőrizni. A Kruskal–Wallis-teszt esetén a post hoc-teszt a Mann–Whitney-féle teszt lesz.

Feladat

Egy kertbe bokros krizantémfajtákat szeretnének betelepíteni. Három fajtát, egy sárga, egy fehér és egy rózsaszín virágú fajtát próbálnak ki, mindegyik vizsgált egyednek a bokron fejlődő virágszámot mérik meg. Melyik fajtán fejlődik több virág?



20. ábra. A Kruskal–Wallis-teszt eredménytáblája

Sárga: 55, 49, 50, 54, 53, 49, 48, 51, 55, 56, 49, 48, 49, 55, 54

Fehér: 65, 59, 60, 64, 63, 69, 68, 61, 65, 66, 69, 58, 59, 65, 64

Rózsaszín: 64, 60, 59, 63, 64, 72, 70, 65, 61, 70, 65, 55, 60, 66, 67

A Kruskal–Wallis-tesztet az ANOVA-hoz hasonló útvonalon találhatjuk meg. Az eredménytáblát megvizsgálva észrevehetjük, hogy a szignifikanciaszint jóval 0,05 alatt van, ami azt jelzi számunkra, hogy a három adatsor mediánja különbözik (20. ábra). Annak érdekében, hogy megtudjuk, mi az adatsorok közötti viszony, meg fogjuk nézni a post hoc-tesztként a program által elvégzett Mann–Whitney-tesztek eredményét (21. ábra). Innen tudjuk meg, hogy a sárga és a fehér, valamint a sárga és a rózsaszín virágú fajták virágszáma közt van különbség, de a fehér és a rózsaszín fajták virágszáma megegyezik. Az eredmények ábrázolására itt is kvartilis ábrát fogunk készíteni. Ezen a különbségeket az ANOVA esetében már bemutatott kódolós módszerrel fogjuk feltüntetni.

	Sárga	Fehér	Rózsaszín
Sárga		3,201E-06	5,238E-06
Fehér	3,201E-06		0,7546
Rózsaszín	5,238E-06	0,7546	

21. ábra. A Mann–Whitney post hoc-teszt eredménytáblája

I.5. Korrelációelemzés

Az eljárás arra használható, hogy megállapítsuk, hogy két változó függ-e egymástól vagy sem. Ha a függő viszonyt megállapítjuk, akkor az egyik ismeretében következtetni lehet a másik változóra is (Précsényi et al. 2002). Létezik paraméteres (Pearson) és nemparaméteres (Spearman-féle rangkorreláció) változata is,

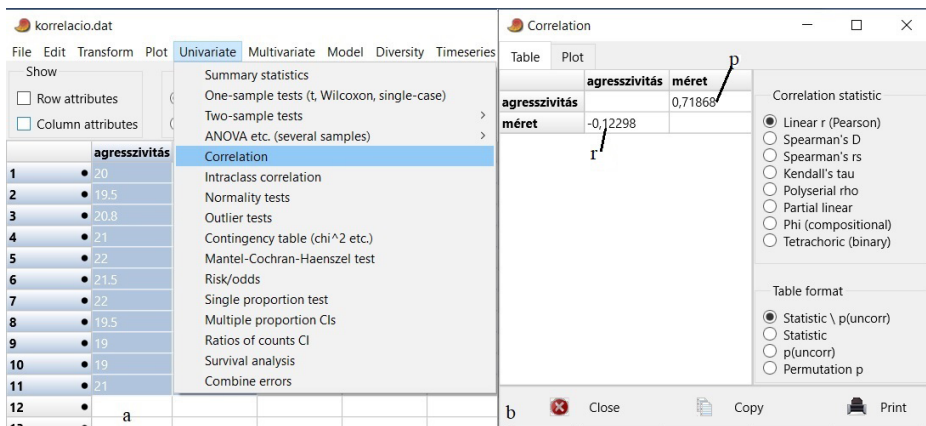
amelyet akkor kell választanunk, ha az előzőnek a feltételei (normalitás, folytonos adatsor) nem teljesülnek (Mayer 2021).

Az eljárás során korrelációs együtthatót számolunk. Ennek értéke $-1 \leftrightarrow +1$ között változhat. Minél közelebb van a -1 vagy a $+1$ értékhez, annál erősebb a kapcsolat a két változó közt:

- ha negatív ($-$) a korrelációs koefficiens, azt jelenti, hogy ahogy az egyik változó nő, a másik úgy csökken,
- ha pozitív a korrelációs koefficiens, azt jelenti, hogy ahogy az egyik változó nő, úgy nő a másik is.

Feladat

A hangyák testmérete és az agresszív interakciók közti összefüggés: egy kutatócsoport az erősen polimorf *Cataglyphis niger* hangya testmérete és a fajon belüli agresszivitás erőssége közti összefüggést vizsgálta. Feltételezték, hogy a kisebb méretű hangyák kevésbé fognak támadóan viselkedni a más kolóniákból származó fajtársakkal szemben, mint a nagyobbak. A vizsgálat érdekében különböző fészkekből származó hangyákon végeztek agresszivitásteszteteket, számolták az agresszív interakciók arányát az összes találkozásból. A vizsgálat után megmérte a tesztelt egyedek testmagyságát.



22. ábra. a) Korreláció kiszámítása PAST program segítségével. b) Korreláció eredménytáblája

Agresszív interakciók százalékos aránya:

10%, 9,5%, 10,8%, 11%, 12%, 11,5%, 12%, 9,5%, 9%, 9%, 11%

Testmagyság:

8 mm, 12,5 mm, 10,3 mm, 9 mm, 13 mm, 10 mm, 11,5 mm, 12 mm, 11 mm, 14 mm, 13,5 mm

A teszt elvégzése után az eredménytáblán láthatjuk, hogy a két változó között kiszámolt korrelációs koefficiens (r) = 0,122, ami nem jelent szignifikáns kapcsolatot, mivel a szignifikanciaszint (p) = 0,718 (22. ábra).

I.6. Regressziószámítás

A regressziószámítás vagy regresszióanalízis célja függvényszerű kapcsolat keresése egy vagy több folytonos magyarázó vagy független változó (independent variable) és egy függő változó (dependent variable) között (Reiczigel–Harnos–Solymosi 2007). Ez az elemzés lehetővé teszi annak a tesztelését, hogy egy vagy több független változó értékeiből milyen mértékben lehet megbecsülni egy függő változó értékeit.

A regresszióanalízist széles körben használják előrejelzésre, valamint ok-okozati összefüggések keresésére a független és a függő változók között (Butanescu–Volanin 2019). Fontos, hogy a regressziók önmagukban csak egy függő változó és egy rögzített adatkészletben lévő független változók gyűjteménye közötti kapcsolatokat tárják fel. Ahhoz, hogy a regressziót előrejelzésre vagy ok-okozati összefüggésekre lehessen használni, a kutatónak gondosan meg kell indokolnia, hogy a meglévő kapcsolatoknak miért van előrejelző (prediktív) ereje egy új összefüggésben, vagy miért van két változó közötti kapcsolatnak ok-okozati értelmezése. Ez utóbbi különösen fontos, ha a kutatók azt remélik, hogy megfigyelési adatok felhasználásával meg tudják becsülni az ok-okozati összefüggéseket (Freedman 2009).

A regresszióanalízis fogalma Francis Galton angol polihisztor nevéhez kötődik, aki először használta a regressziót, amikor azt vizsgálta, hogy milyen mértékben határozza meg a szülők átlagmagassága az utódaik magasságát. Számításai során azt a törvényszerűséget fedezte fel, hogy a szülők átlagmagasságából előre megmondható az utód felnőttkori testmagassága, és ez a magasság a szülők átlagmagassága körüli érték (Galton 1886).

A magyarázó változót X -ekkel, a független változót Y -nal jelölve, az X -ek és Y közötti feltételezett összefüggés a következő függvény formájában fejezhető ki:

(1) $f: X \rightarrow Y$ vagy $Y = f(X)$

pl. magasság = f (szülők átlagmagassága)

(2) $f: X_1, X_2, \dots, X_r$ vagy $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_r)$

pl. magasság = f (szülők átlagmagassága, testtömege, születési tömeg)

A regressziós modell tulajdonságai alapján megkülönböztethetünk lineáris és nemlineáris regressziót, az adatok alapján pedig idősor-, keresztmetszeti és panel-regresszióanalízist.

I.6.1. Egyszerű lineáris regresszió

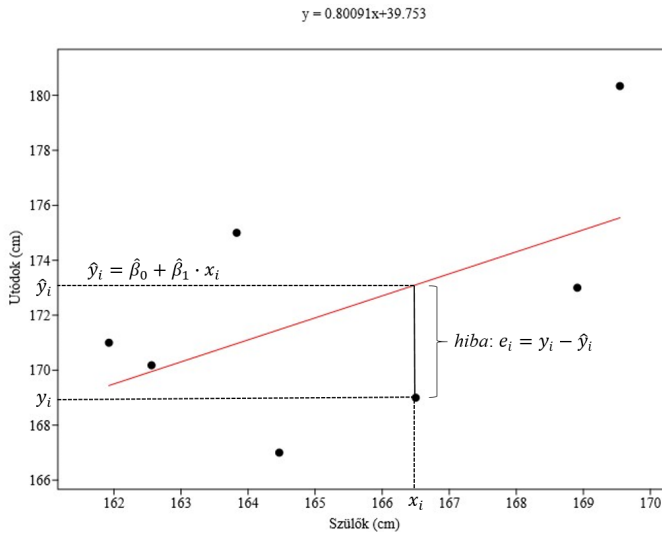
A lineáris regresszió egy olyan paraméteres regressziós modell, mely feltételezi a függő (Y) és független (X) változó közti (paramétereiben) lineáris kapcsolatot, és megadja az Y becslt értékét az X-ből. Az X alapján becslt Y értéke az alábbi lineáris összefüggés segítségével számolható ki:

$$Y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X + \epsilon,$$

ahol $\hat{\beta}_0$ az egyenes metszéspontja az Y tengellyel, $\hat{\beta}_1$ az egyenes iránytangense (meredeksége), ϵ pedig a véletlen hibák összességét jelenti. Értelmezése:

$$\epsilon = \sum_{i=1}^n e_i^2,$$

ahol e_i az y_i értékhez kapcsolódó hiba.



23. ábra. A lineáris regressziós modell hibájának értelmezése egy pont esetében (a szülők átlagmagassága és az utódok magassága közti összefüggés alapján)

Ez azt jelenti, hogy lineáris regresszió becslése során a mintavételi adatok pontfelhőjére igyekszünk egyenest illeszteni a közönséges legkisebb négyzetek módszerének (Ordinary Least Squares method vagy OLS-módszer) alkalmazásával. Mivel a pontoknak van egy bizonyos mértékű szóródása, bármilyen egyenest illesztünk rájuk, mindig lesznek olyan pontok, amelyek nem lesznek rajta az adott egyenesen. A modell csupán azokat a pontokat tudja helyesen megjósolni,

Gallton's Height Data

The table below gives data based on the famous 1885 study of Francis Galton exploring the relationship between the heights of adult children and the heights of their parents. Each case is an adult child, and the variables are

- *Family*: The family that the child belongs to, labeled from 1 to 205.
- *Father*: The father's height, in inches
- *Mother*: The mother's height, in inches
- *Gender*: The gender of the child, male (M) or female (F)
- *Height*: The height of the child, in inches
- *Kids*: The number of kids in the family of the child

The data set has 898 cases. The family that we have labeled 205 was originally labeled 136A by Galton.

Data

Family	Father	Mother	Gender	Height	Kids
1	78.5	78.5	67.0 M	73.2	4
1	78.5	78.5	67.0 F	69.2	4
1	78.5	78.5	67.0 F	69.0	4
1	78.5	78.5	67.0 F	69.0	4
2	75.5	75.5	66.5 M	73.5	4
2	75.5	75.5	66.5 M	72.5	4
2	75.5	75.5	66.5 F	65.5	4
2	75.5	75.5	66.5 F	65.5	4
3	75.0	75.0	64.0 M	71.0	2
3	75.0	75.0	64.0 F	68.0	2
4	75.0	75.0	64.0 M	70.5	5
4	75.0	75.0	64.0 M	68.5	5
4	75.0	75.0	64.0 F	67.0	5

Source and Resources

- Regression Towards Mediocrity in Hereditary Stature, Francis Galton (1886)
- Project Mosaic
- J.A. Hanter

24. ábra. Galton (1886) adatai a Random Services honlapján

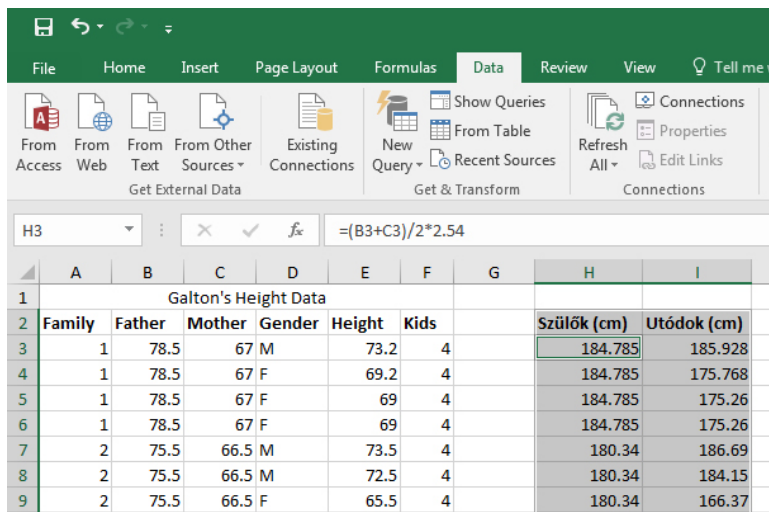
amelyek rajta vannak az egyenesen. Minél távolabb esik egy pont az egyenestől, annál nagyobb a modell hibája. Ha a pont az egyenes fölött van, a becslés hibája egy pozitív szám lesz, ha az egyenes alatt, akkor negatív. A különböző előjelek hatásának a kiküszöbölése érdekében a hibákat négyzetre emelik. Az egyenes illesztése úgy történik, hogy értéke eleget kell tegyen annak a feltételnek, hogy a függőleges hibanégyzetek összege minimális legyen (Zsigmond 2022).

A szülők átlagmagassága és az utódok magassága közti összefüggést tanulmányozva értelmezhetjük a lineáris regressziós modell hibáját egy pont esetében (23. ábra), ahol az (x_i, y_i) pont becslésének a hibája e_i , jelen esetben egy negatív érték. Az ábrán látható a lineáris regresszió által kapott egyenlet is a becslt értékekkel. Az X együtthatója egy pozitív szám, ami pozitív összefüggést mutat X és Y között. A modell szerint a szülők átlagmagasságának egységnyi (1 cm) növekedésénél az utód magassága csupán 0,8 cm-rel növekszik. Ez a növekedés független a szülők átlagmagasságától.

Feladat

1. Töltsétek le Galton adatait (<https://www.randomservices.org/random/data/Galton.html>), amelyek ma nyilvánosak, ingyen letölthetők több formátumban is. Válasszuk az Excel formátumot (24. és 25. ábra).

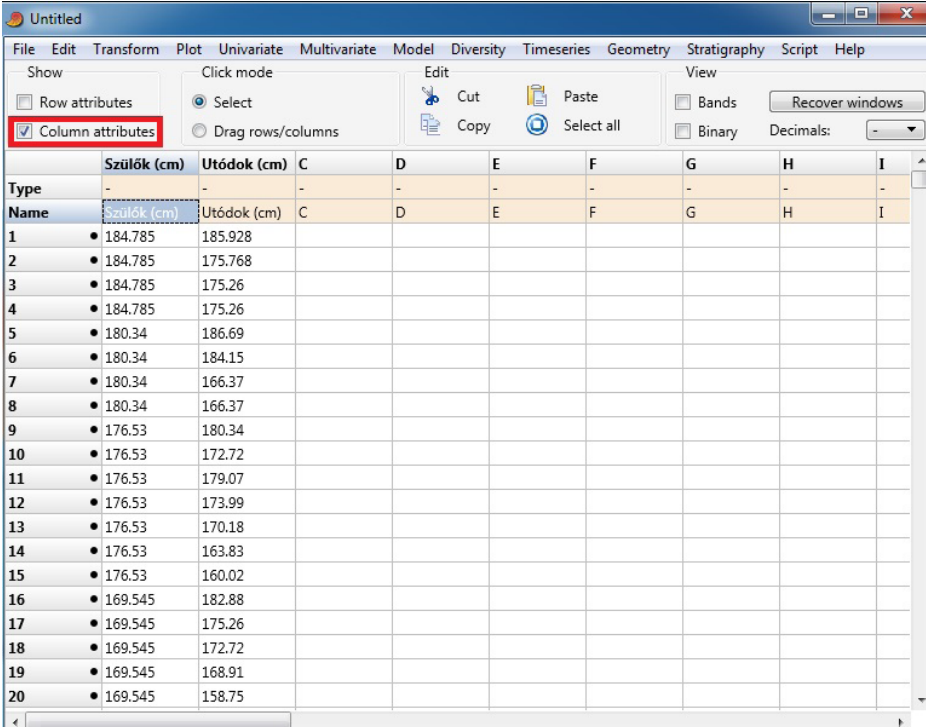
A táblázatban szereplő adatok alapján számoljátok ki a szülők átlagmagasságát, ez lesz az X változó, az utódok magassága pedig az Y változó szerepét veszi fel. A magasságok inchben vannak megadva, ezért a jobb követhetőség miatt alakítsuk át cm-be (1 inch = 2,54 cm).



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Galton's Height Data								
2	Family	Father	Mother	Gender	Height	Kids		Szülők (cm)	Utódok (cm)
3	1	78.5	67	M	73.2	4		184.785	185.928
4	1	78.5	67	F	69.2	4		184.785	175.768
5	1	78.5	67	F	69	4		184.785	175.26
6	1	78.5	67	F	69	4		184.785	175.26
7	2	75.5	66.5	M	73.5	4		180.34	186.69
8	2	75.5	66.5	M	72.5	4		180.34	184.15
9	2	75.5	66.5	F	65.5	4		180.34	166.37

25. ábra. Galton (1886) adatai Excel táblázatban, átlagmagassággal és mértékegység átalakításával

Jelöljétek ki az így kapott adatsorokat, és másoljátok át a Past statisztikaprogramba (26. ábra). Ha az oszlopok nevét is szeretnének bemásolni, előtte ki kell pipálni a *Column attributes* kockát, majd az így megjelenő első oszlop A kockájába klikkelve lenyomni a *Ctrl+V* billentyűkombinációt.



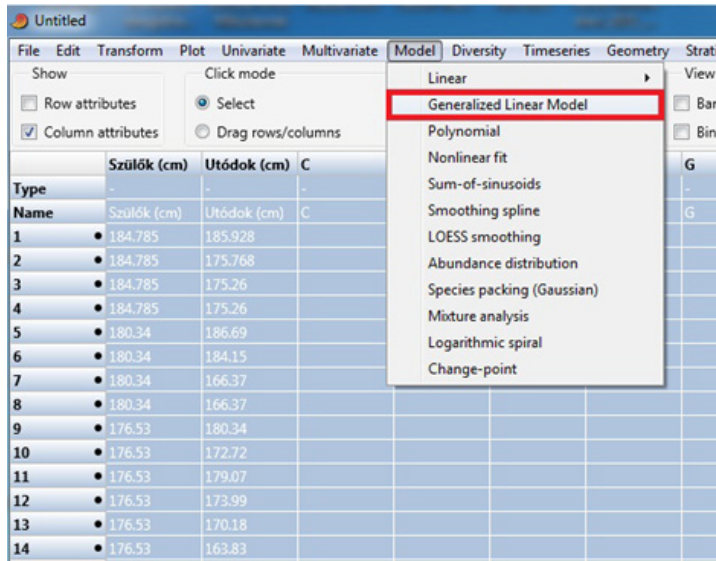
	Szülők (cm)	Utódok (cm)	C	D	E	F	G	H	I
Type	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Name	Szülők (cm)	Utódok (cm)	C	D	E	F	G	H	I
1	• 184.785	185.928							
2	• 184.785	175.768							
3	• 184.785	175.26							
4	• 184.785	175.26							
5	• 180.34	186.69							
6	• 180.34	184.15							
7	• 180.34	166.37							
8	• 180.34	166.37							
9	• 176.53	180.34							
10	• 176.53	172.72							
11	• 176.53	179.07							
12	• 176.53	173.99							
13	• 176.53	170.18							
14	• 176.53	163.83							
15	• 176.53	160.02							
16	• 169.545	182.88							
17	• 169.545	175.26							
18	• 169.545	172.72							
19	• 169.545	168.91							
20	• 169.545	158.75							

26. ábra. Galton (1886) adatai a Past statisztikai program munkalapján

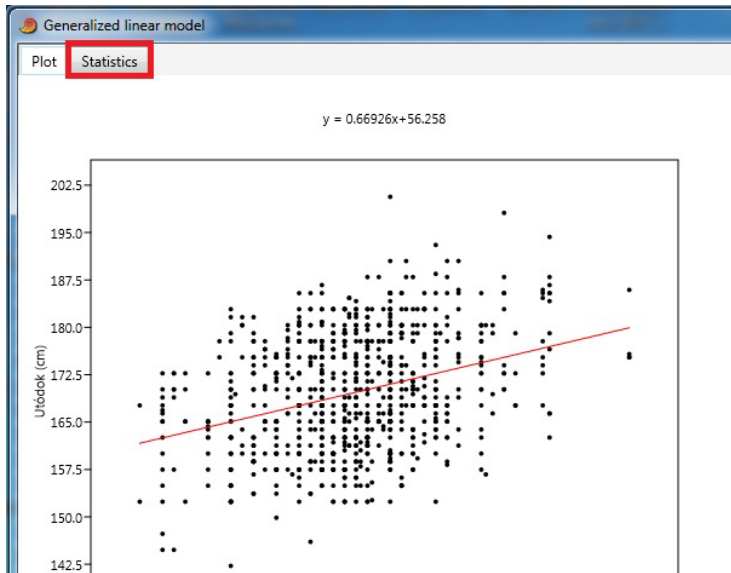
A bemásolt adatok egy részét kijelölhetjük a *Shift+nyíl* billentyűk segítségével, vagy az összes adatot a *Ctrl+A* billentyűkombinációval. A *Model* fülben található a lineáris modell: *Generalized Linear Model* (27. ábra), erre kattintva meg is kapjuk a grafikont (28. ábra).

A háttéradatokat a *Statistics* fül alatt érhetők el, maga a grafikon a *Graph settings*-re való kattintás után szerkeszthető.

Másoljátok ki az így kapott grafikont Word dokumentumba, és értelmezzétek szöveges formában.



27. ábra. A lineáris modell kiválasztása



28. ábra. A szülők átlagmagassága és az utódok magassága közti összefüggés Francis Galton adatai alapján (Galton 1886)

I.7. Többváltozós adatelemzés

A többváltozós adatelemzés kettőnél több változó egyidejű elemzését jelenti. A módszer fő előnye, hogy mivel a független változók egynél több tényezőjét veszi figyelembe, amelyek befolyásolják a függő változókat, a levont következtetések pontosabbak és valóságosabbak, közelebb állnak a valós élethelyzethez.

Többváltozós vagy sokváltozós adatok például az egyedek morфомetriai adatai (pl. hossz, magasság, tömeg), fiziológiai adatai (pl. vérnyomás, pulzus), környezeti adatok (pl. légnyomás, hőmérséklet, páratartalom), biológiai adatok (fajsúly, egyedszám) stb.

Többváltozós adatelemzéshez a statisztikai adatokat sor- és oszlopszerkezetbe, úgynevezett többváltozós mátrixokba szervezzük, ahol a sorokban az esetek, az oszlopokban pedig három vagy több változó található, amelyek kapcsolatát vizsgálni szeretnénk. Általános szabály, amely nemcsak a többváltozós statisztikára, hanem más elemzési módszerekre is érvényes, hogy az értékek numerikusak kell legyenek. Természetesen az intervallumarányos változókat természetükénél fogva számszerűen fejezik ki, de a nominális változók esetében az értékeket sokszor a kutató az általa kijelölt kódokkal fejezi ki. Például a nemet és kort: nőstény (n), hím (h), ivarérett vagy adult (ad.), ivaréretlen (juv.) szavakkal vagy betűkkel/betűkombinációkkal. Ezt minden esetben le kell cserélni hagyományos numerikus kódokra (pl. „1” a nőstény, „2” a hím). Továbbá, a szabályos számokhoz hasonlóan a mátrixok is alávetethők matematikai műveleteknek, mint az összeadás, kivonás, szorzás, osztás stb.

A többváltozós statisztikai eljárások három nagy csoportjával foglalkozunk a továbbiakban: klaszterelemzés, sokdimenziós skálázás és főkomponens-elemzés.

I.7.1. Klaszterelemzés

A klaszterelemzés vagy klaszteranalízis az osztályozó eljárások közé sorolható, mely többféle módszerrel is kivitelezhető. Segítségével feltárható a halmazon belül egy máshoz leginkább hasonló (közeli) változók vagy megfigyelési egységek (pl. egyedek) csoportja. Ezeket a csoportokat nevezzük klasztereknek. Az adatok az egyes klasztereken belül hasonlítanak egymáshoz valamilyen dimenzió szerint, míg ugyanazon dimenzió mentén különböznek a többi klaszter elemeitől. A csoportok minél homogénebbek, vagyis minél nagyobb a csoportokon belül az elemek hasonlósága, és minél nagyobb a csoportok közötti különbség, annál pontosabbnak mondható a klaszteranalízis maga. A csoportosítás alapját különböző távolság- vagy hasonlóságmértékek képezik. Az eredmények szemléletesen fa-diagram (dendrogram) segítségével kerülnek bemutatásra. A dendrogram az „egyedek” klaszterbe épü-

lésének és a klaszterek egymásba olvadásának szemléletes képét adja, a klaszterek hasonlósági vagy különbözőségi szintjének megfelelően (Kovács 2014).

A különböző modellek szubjektíven értelmezik a hasonlóság fogalmát. A hasonlóság gyakran van távolságként megadva, ilyenkor szükséges meghatározni a távolság mértékét. A klaszteranalízis során használt távolságmérték kiválasztása nagyon fontos lépés, mert ez alapján fogja a klaszterelemzés meghatározni, hogy két elem mennyire hasonló egymáshoz. Így a kiválasztott távolságmérték befolyásolja az eredményül kapott klaszterek alakját is (Fülöp 2006).

A klaszterelemzés rendkívül népszerű eljárás a biológiában, gyakran használják különböző élőhelyek növény- és állatközösségeinek csoportosítására, összehasonlítására.

Egyik leggyakrabban használt távolságfüggvény az euklideszi távolság, amely intervallum és arányskálán mért metrikus adatoknál használható. Valójában a két pontot összekötő szakasz hossza a síkban vagy a háromdimenziós térben, amely kiszámolható a Pitagorasz-tétel segítségével.

Életközösségek fajkészletének az összehasonlítására használják a hasonlósági (szimilaritási indexeket), melyek nemcsak a fajok számát, hanem azok tényleges identitását is figyelembe veszik.

A Jaccard-index vagy Jaccard hasonlósági bináris alapadatokkal számol, melyek csak a fajok jelenlétét, illetve hiányát (prezencia/abszencia) veszik figyelembe, egyedszámtól függetlenül, figyelmen kívül hagyva a dominanciaviszonyokat (Krebs 1989). A Jaccard-index képlete:

$$S_j = a/(a+b+c),$$

ahol S_j a Jaccard hasonlósági koefficiens, a a közös fajok száma, b csak az X közösségben előforduló fajok száma, c csak a Y közösségben előforduló fajok száma. Innen következik, hogy ha S_j értéke 0, akkor a két közösség teljes mértékben különbözik egymástól, egyetlen közös faj sincsen, míg ha S_j értéke 1, akkor a két közösség teljesen egyforma, mindkettőben ugyanazok a fajok vannak.

A Bray–Curtis-index alapján a dominanciaviszonyokat is figyelembe veszi két közösség összehasonlításakor (Bray–Curtis 1957). Képlete:

$$S_{BC} = 100 \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_{ij} - y_{ij}|}{\sum_{i=1}^n |x_{ij} + y_{ij}|} \right\},$$

ahol y_{ij} az i faj egyedszáma a j mintában, y_{ik} az i faj egyedszáma a k mintában, n a teljes mintaszám.

A Simpson-index azt a valószínűséget méri, hogy egy mintából vagy mintasorozatból véletlenszerűen kiválasztott két egyed ugyanahhoz a fajhoz tartozzon. Nagyon érzékeny a domináns fajok gyakoriságának változására. Képlete:

$$I = \frac{\sum n(n-1)}{N(N-1)},$$

ahol D a Simpson-index, n az egyes faj egyedszáma, N az összegyedszám. A Simpson-index értékei a $[0, 1]$ tartományba esnek, értékének a növekedésével a diverzitás csökken. Néha ezt a mutatót fordított valószínűségként fejezik ki, azaz: $D_s = 1 - I$. Ha a Simpson-index-értékek közötti különbségek nagyon kicsik, az inverz Simpson-index (I^{-1}) használata javasolt ($1/I$), melynek értékei $[0, +\infty]$ tartományban váltakoznak (Sárbu–Benedek 2012).

A Horn-index egy olyan ökológiai mutató, amely két közösség fajösszetételét és az adott fajok dominanciaértékeinek alakulását hasonlítja össze, azaz a jelenlét-hiányon túl az egyes fajok relatív gyakoriságát is figyelembe veszi. Képlete:

$$S_H = \frac{\Sigma[(X_{ij} + X_{ik}) \log(X_{ij} + X_{ik})] - \Sigma(X_{ij} \log X_{ij}) - \Sigma(X_{ik} \log X_{ik})}{[(N_j + N_k) \log(N_j + N_k)] - (N_j \log N_j)},$$

ahol S_H a Horn-hasonlósági index j és k számú minták esetében, X_{ij} és X_{ik} az i fajok egyedeinek száma j és k számú minták esetében, $N_j = \Sigma X_{ij}$ az összes egyed száma j számú minták esetében, $N_k = \Sigma X_{ik}$ az összes egyed száma k számú minták esetében.

Látható, hogy a Horn-indexet alapvetően a gyakori fajok dominanciája határozza meg. Elvégezhetjük a minták értékelését az adatok tízes alapú logaritmus-transzformációjával is. A kiugróan magas értékeket a logaritmus-transzformáció csökkenti, ezáltal a kisebb értékek közelebb kerülnek a nagyobbakhoz, és így a közösség alapszerkezetéről kapunk képet. A logaritmikus adatokon alapuló szimilaritási viszonyok a gyakori fajok mellett a közepesen gyakori fajokat is nagyobb súllyal szerepeltetik a hasonlóság kialakításában, míg a domináns fajok egyedszámbeli ingadozásának szerepe csökken. A Horn-index másik előnye más indexekkel szemben, hogy segítségével az összehasonlítás elvégezhető akkor is, ha a minták nagysága nem egyezik meg, a kapott eredmény gyakorlatilag a minták nagyságától függ (Wolda 1981).

I.7.2. Főkomponens-elemzés

A főkomponens-analízis vagy főkomponens-elemzés (Principal Component Analysis, rövidítve PCA) az adatredukciós módszerek közé tartozik. Lényege, hogy egy kölcsönös kapcsolatban álló változókat tartalmazó nagy adathalmaz dimenzióit úgy csökkentse le, hogy közben a jelen lévő varianciát a lehető legjobban megtartsa. Ezt úgy hajtja végre, hogy a kiindulási mátrix korrelált változói (oszlopok) közötti összefüggések vizsgálatának megkönnyítése érdekében az

eredeti változókat egy merőleges (ortogonális) transzformációnak veti alá, amely új, korrelálatlan változókat eredményez. Ezeket az új változókat főkomponenseknek nevezünk. A főkomponensek száma kisebb vagy egyenlő az eredeti változók számával. Az első főkomponens rendelkezik a lehető legnagyobb varianciával (az adatok lehetséges legnagyobb mértékű szóródását magyarázza), s minden utána következő komponens a fennmaradó legnagyobb varianciával fog rendelkezni (Borosy et al. 2001). Összefoglalva az eddigieket: a pontok helyzetét változtatlanul hagyva az eredeti koordináta-rendszert egy új koordináta-rendszerrel helyettesítettük, úgy, hogy az első új tengely (komponens) maximális varianciát sűrítse magába, s a lehető legkevesebbet hagyja a második komponensre (Podani 1997).

I.7.3. Sokdimenziós skálázás

A sokdimenziós skálázás (Multidimensional Scaling, rövidítve MDS) egy feltáró módszer, melynek háttérében az a feltevés áll, hogy a térben minden megfigyelésnek megfelel egy pont, és a hasonlóbb pontok közelebb vannak egymáshoz. A távolságokat olykor kényelmesebb hasonlóságként/különbségként értelmezni, mivel a vizsgált objektumok nem feltétlenül vannak közel vagy távol egymáshoz/egymástól, hanem azt vizsgáljuk, hogy mennyire hasonlítanak/különböznek egymásra/egymástól. Az MDS alkalmazásakor nem fogalmazunk meg sztochasztikus modellt, nem feltételezünk oksági kapcsolatot, nem állítunk fel tesztelendő hipotézist. A skálázással az adatok között mért különbségekből nyerünk információt, származtatunk koordinátákat a skálatérképen. Az MDS-elemzés célja hasonló ahhoz, amit a főkomponens-elemzésnél tűztünk ki: az objektumok közötti eltéréseket megőrizve csökkentjük a tér dimenzióját, objektív skálát hozunk létre egy redukált dimenziójú térben (Kovács E. 2014).

A sokdimenziós skálázás két fő típusa a metrikus és nemmetrikus sokdimenziós skálázás. A metrikus sokdimenziós skálázás (mMDS) esetében a kiindulási adatok metrikusak (intervallum- vagy arányskála), míg a nemmetrikus sokdimenziós skálázás (nMDS) esetében a kiindulási adatok ordinálisak. A nMDS előnye, hogy az ordináció rangjellegű szimilaritás/diszimilaritás adatokon alapszik a mintákra vonatkoztatva (Podani 1997).

Feladat

1. Többváltozós adatelemzés diszkrét változókkal

Vegyük alapul tíz pókfaj (a fajnevek hatbetűs kóddal vannak jelölve) három tőzeglápnban (Mohos, Fenyőkút, Mluha) való előfordulási adatait (egyedszám), tőzegláponként öt-öt mintában (2. táblázat).

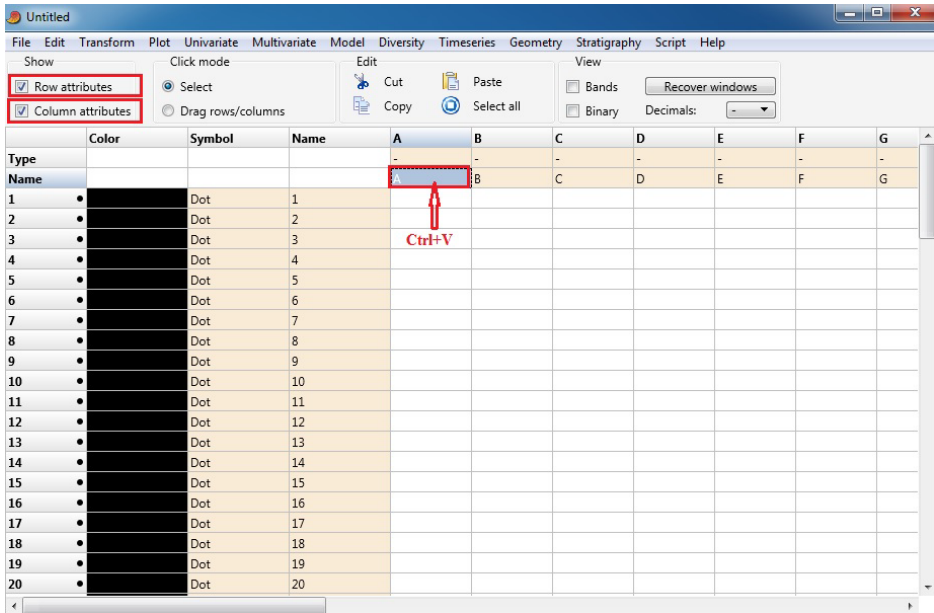
2. táblázat. Pókok előfordulása tőzeglápokban

Tőzegláp	agrpro	agydec	apofus	evafal	hahpus	meopro	mimmar	nenret	parpul	pocpum
Mohos	2	0	0	1	0	0	1	2	0	5
Mohos	0	0	0	1	1	0	0	2	1	2
Mohos	2	0	0	2	0	0	0	2	1	3
Mohos	0	0	0	3	0	0	0	2	0	2
Mohos	1	0	0	1	1	0	0	2	0	3
Fenyőkút	0	0	0	0	0	5	17	1	0	2
Fenyőkút	0	0	0	0	0	0	13	3	0	0
Fenyőkút	0	0	0	0	0	5	21	2	0	0
Fenyőkút	0	0	0	0	0	1	17	2	0	0
Fenyőkút	0	0	0	0	0	4	7	3	0	0
Mluha	3	3	4	0	0	0	5	0	2	2
Mluha	0	3	2	0	2	0	3	0	4	0
Mluha	3	2	3	0	1	0	4	0	3	3
Mluha	0	0	3	0	1	0	3	0	0	0
Mluha	0	4	1	0	1	0	5	0	0	0

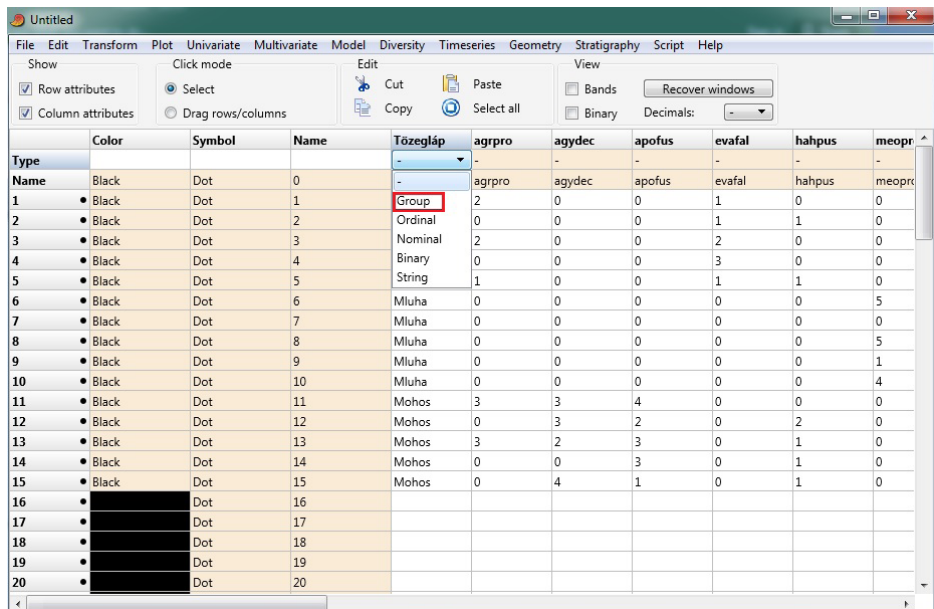
Az adatokat bemásoljuk az Excel-táblázatból a Past-programba. Bemásolhatjuk csak magát a mátrixot, de ha a sorok és az oszlopok nevét is szeretnénk bemásolni, előtte ki kell pipálni a *Row attributes* és a *Column attributes* kockákat, majd az így megjelenő *A* kockába kattintva lenyomni a Ctrl+V billentyűkombinációt (29. ábra).

Az így bemásolt adatok első oszlopára (tőzeglápok nevei) meg kell adni, hogy csoportokat képviselnek. Ezt a *Type* sorban a megfelelő oszlop kockájára kattintva adhatjuk meg, kiválasztva a *Groupot* a felajánlott kategóriák közül (30. ábra).

Továbbá az egyes csoportok színeit és a pontok ábrán való megjelenítéséhez használt szimbólumokat is beállíthatjuk vagy megváltoztathatjuk. Ezt megtehetjük minden adatsorra külön-külön a *Color*, illetve a *Symbol* oszlopok megfelelő sorban található kockájára kattintva, vagy megadhatjuk egyszerre egy-egy adatsoporra, ha az első oszlopban (Name alatt) az adatsoport első sorának első kockájára kattintunk, lenyomjuk a *Shift* billentyűt, és ezt nyomva tartva a megfelelő csoport utolsó adatsorának az első kockájára kattintva kijelöljük a teljes csoportot, majd az Edit fül alatt a *Row colors/symbols...*-ra kattintva megadjuk az általunk választott színt és szimbólumot. Ha ezzel végeztünk, kezdődhet az adatok konkrét elemzése, ábrázolása.

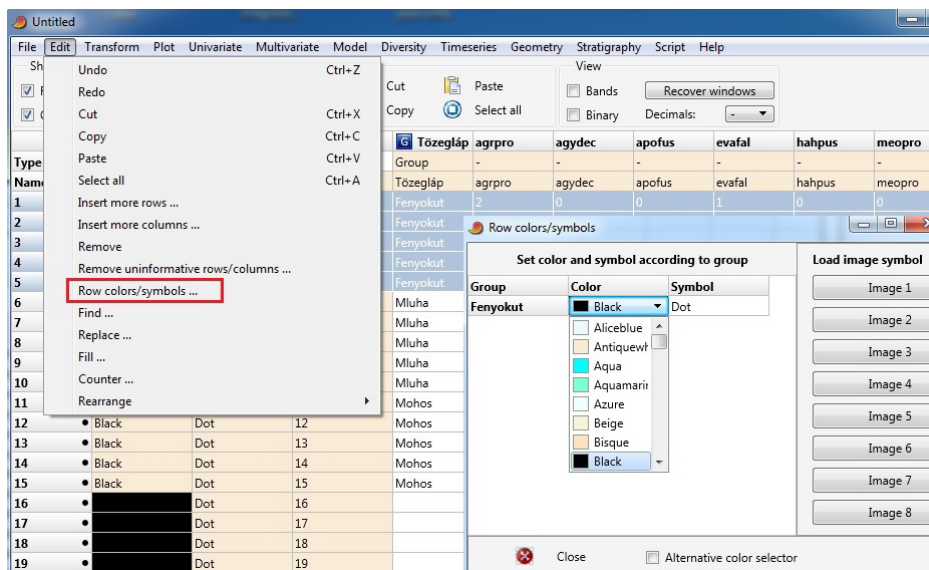


29. ábra. Adatok bemásolása a Past programba



30. ábra. Az adatcsoportok nevét tartalmazó oszlop kiválasztása

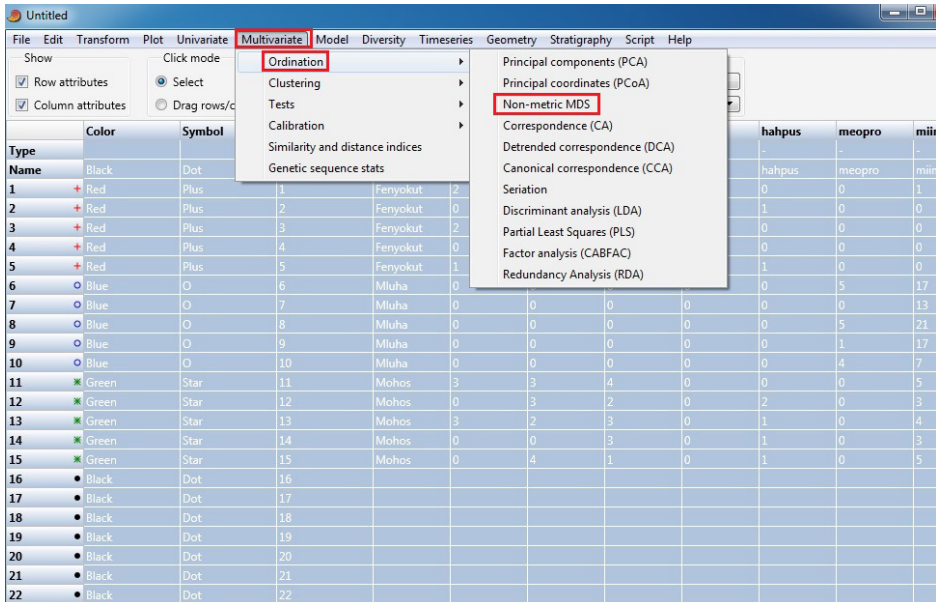
A Past programban ennek lehetőségei a *Multivariate* fül alatt találhatóak. Dolgozhatunk a bemásolt adatok egy részével is, kijelölve a *Shift+nyíl* billentyűk segítségével a kívánt sorokat és oszlopokat, vagy az összes adattal, kijelölve a *Ctrl+A* billentyűkombinációval (31. ábra).



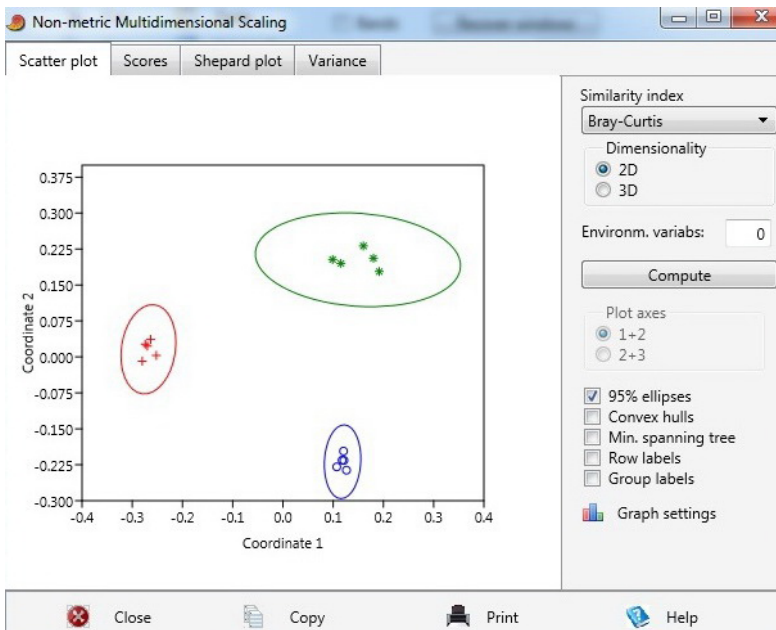
31. ábra. Az egyes adatcsoportok színének és szimbólumának a megadása

A nemmetrikus sokdimenziós skálázáshoz válasszuk a *Multivariate* fülön belül az *Ordination*-t, és azon belül a *Non-metric MDS*-t (32. ábra). A megjelenő ablakban ki kell választani az alkalmazásra kerülő hasonlósági indexet (*Similarity index*): Bray–Curtis, Horn, Simpson, Jaccard stb., majd rákattintunk a *Compute* gombra. Pillanatok alatt megjelenik a grafikon, melyen megjeleníthetjük a 95%-os konfidenciaintervallumokat kirajzoló ellipsziseket (*95% ellipses*), vagy összeköthetjük a csoporton belüli szélső értékeket (*Convex hulls*), kiíratathatjuk az egyes minták (*Row labels*) vagy egyes csoportok (*Group labels*) nevét, vagy további szerkesztési lehetőségeket érhetünk el a *Graph settings* gombra kattintva (33. ábra).

Pillanatok alatt megjelenik a grafikon, melyen megjeleníthetjük a 95%-os konfidenciaintervallumokat kirajzoló ellipsziseket (*95% ellipses*), vagy összeköthetjük a csoporton belüli szélső értékeket (*Convex hulls*), kiíratathatjuk az egyes minták (*Row labels*) vagy egyes csoportok (*Group labels*) nevét, vagy további szerkesztési lehetőségeket érhetünk el a *Graph settings* gombra kattintva (33. ábra).

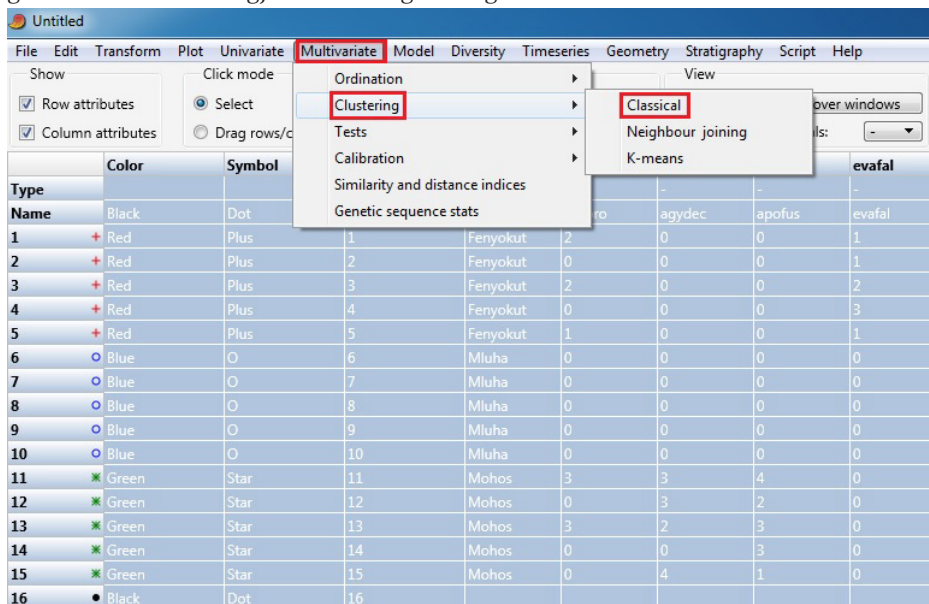


32. ábra. A nemmetrikus sokdimenziós skálázás kiválasztása Past programban



33. ábra. A nemmetrikus sokdimenziós skálázással készített ábra

Klaszterelemzéshez válasszuk, szintén a *Multivariate* fülön belül, a *Clustering*, majd a *Classical* lehetőséget (34. ábra). A megjelenő ablakban ki kell választani az alkalmazásra kerülő hasonlósági indexet (*Similarity index*), amely alkalmazható diszkrét változókra, mint pl. Bray–Curtis, Horn, Jaccard, Simson stb. A Compute gombra kattintva megjelenik a megfelelő grafikon.



34. ábra. Klaszterelemzés kiválasztása Past programban

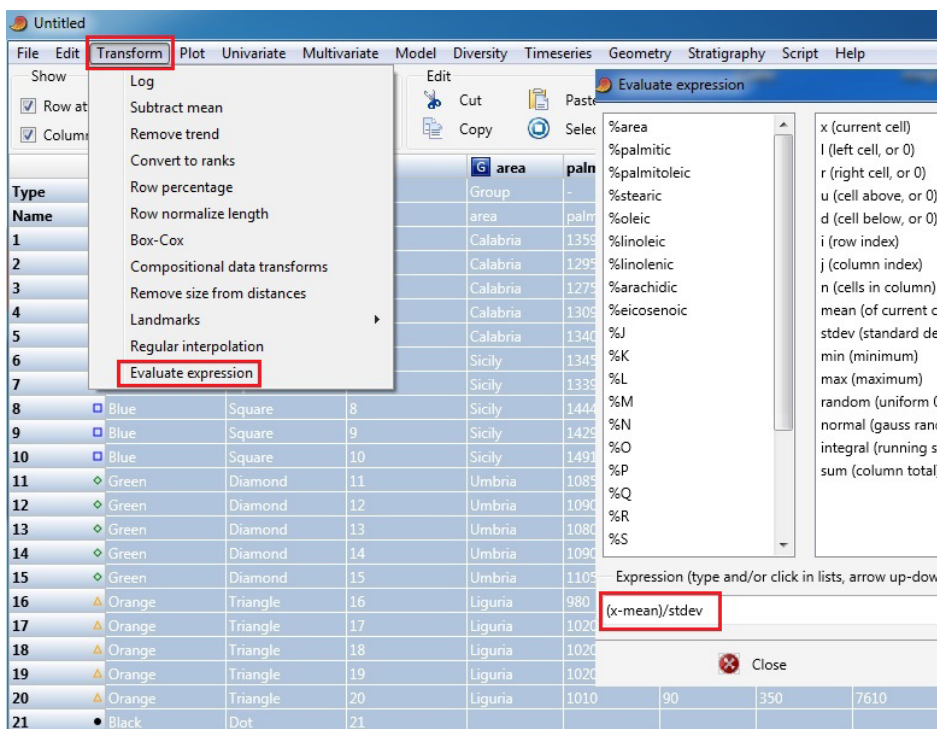
Mentsük el a grafikonokat jpg formátumban, majd másoljuk be egy Word-dokumentumba és értelmezzük.

I.7.4. Többváltozós adatelemzés folytonos skálájú változókkal

Folytonos skálájú változók együttes vizsgálatánál kulcsfontosságú, hogy a változókat azonos skálára hozzuk annak érdekében, hogy hatásuk kiegyensúlyozott legyen. Ezt a z-transzformációval (standardizálással) oldhatjuk meg. Ennek a lényege az, hogy változónként az értékekből kivonjuk az átlagot, és a különbséget elosztjuk a szórással. Ennek eredményeként minden változó átlaga nulla, szórása pedig egy lesz. A Past nem tartalmazza ezt a fajta skálázást, viszont a főkomponens-analízisnél lehetőséget ad arra, hogy a korrelációs mátrixszal dolgozzunk, ami ezt a célt szolgálja. Tehát a főkomponens-analízisnél mindig a korrelációs mátrix alapján dolgozzunk. Az új, főkomponens-tengelyek az eredeti változók lineáris kombinációjából keletkeznek, és sajátértékeik (eigenvalue) megmutatják,

hogyan az eredeti szóródásnak (varianciának) hány százalékát fedik le. Ez egy fontos információ, amit az ábrán a tengelyek (PC1, PC2 stb.) mellett zárójelben szoktak feltüntetni. A tengelyek magyarázóereje az elsőtől indulva egyre csökken, tehát a legnagyobb sajátértéke mindig az első tengelynek van.

Klaszteranalízis előtt is szükséges az adatok transzformálása (standardizálása), amit elvégezhetünk már Excel segítségével, de akár magában a Past programcsomagban is, a következőképpen: kijelöljük a változókat, majd a *Transform* fül alatt az *Evaluate expression* lehetőséget választjuk. Az így megjelenő ablakban, alul, beírjuk a következő képletet: $(x-\text{mean})/\text{stdev}$, vagyis minden értékből kivonja az átlagot és osztja a szórással (35. ábra).



35. ábra. Folytonos skálájú változók standardizálása Past programban

Ha elkészültünk az adatok standardizálásával, kijelöljük a csoportokat (diszkrét változókkal való többváltozós adatelemzésnél leírtak szerint), majd kijelöljük az adatok egy részével, amivel dolgozni szeretnénk a *Shift+nyíl* billentyűk segítségével, vagy az összes bevitt adatot a *Ctrl+A* billentyűkombinációval, és következhet az adatelemzés.

Példa: vegyük alapul különböző vidékekről származó olívaolajok savtartalmát (3. táblázat).

A főkomponens-elemzéshez válasszuk a *Multivariate* fülön belül az *Ordination*, majd a *Principal components (PCA)* lehetőséget (36. ábra). A megnyíló ablakban a *Matrix* felirat alatt válasszuk a *Correlation* lehetőséget, majd kattintsunk rá a *Recompute* gombra (37. ábra).

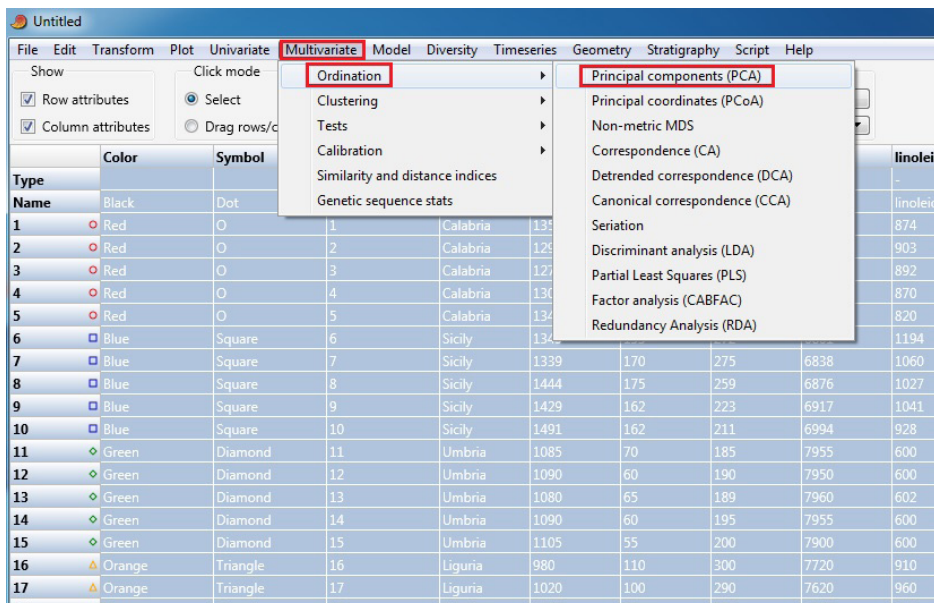
3. táblázat. *Különböző vidékekről származó olívaolaj-minták savtartalma*

Area	palmitic	palmitoleic	stearic	oleic	linoleic	Linolenic	Arachidic	Eicosenoic
Calabria	1359	115	246	7234	874	45	63	18
Calabria	1295	109	245	7253	903	43	62	38
Calabria	1275	121	215	7285	892	40	68	41
Calabria	1309	122	241	7257	870	46	72	35
Calabria	1340	114	189	7337	820	48	72	21
Sicily	1345	133	272	6801	1194	48	83	37
Sicily	1339	170	275	6838	1060	46	88	43
Sicily	1444	175	259	6876	1027	34	78	32
Sicily	1429	162	223	6917	1041	37	77	40
Sicily	1491	162	211	6994	928	37	97	38
Umbria	1085	70	185	7955	600	25	55	1
Umbria	1090	60	190	7950	600	28	47	2
Umbria	1080	65	189	7960	602	35	20	1
Umbria	1090	60	195	7955	600	28	42	2
Umbria	1105	55	200	7900	600	37	55	2
Liguria	980	110	300	7720	910	10	0	3
Liguria	1020	100	290	7620	960	0	10	2
Liguria	1020	90	350	7620	920	10	0	3
Liguria	1020	90	260	7620	1010	0	0	3
Liguria	1010	90	350	7610	930	10	0	3

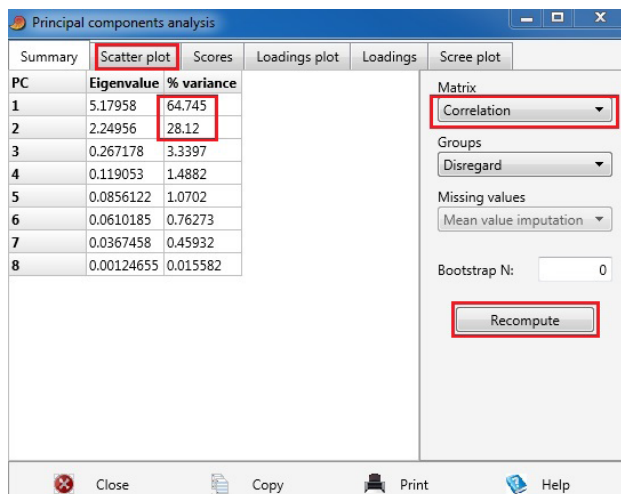
Megjelenik egy táblázat, mely tartalmazza az egyes komponensekre számolt sajátértékeket (eigenvalue), és hogy az eredeti szóródásnak (varianciának) hány százalékát fedik le (% variance) (37. ábra).

A grafikon az első két komponensre a *Scatter plot* fülre kattintva jeleníthető meg, melyen megjeleníthetjük a 95%-os konfidenciaintervallumokat kirajzoló ellipsziseket (*95% ellipses*), vagy összeköthetjük a csoporton belüli szélső értékeket (*Convex hulls*), kiíratathatjuk az egyes minták (*Row labels*) vagy egyes csoportok

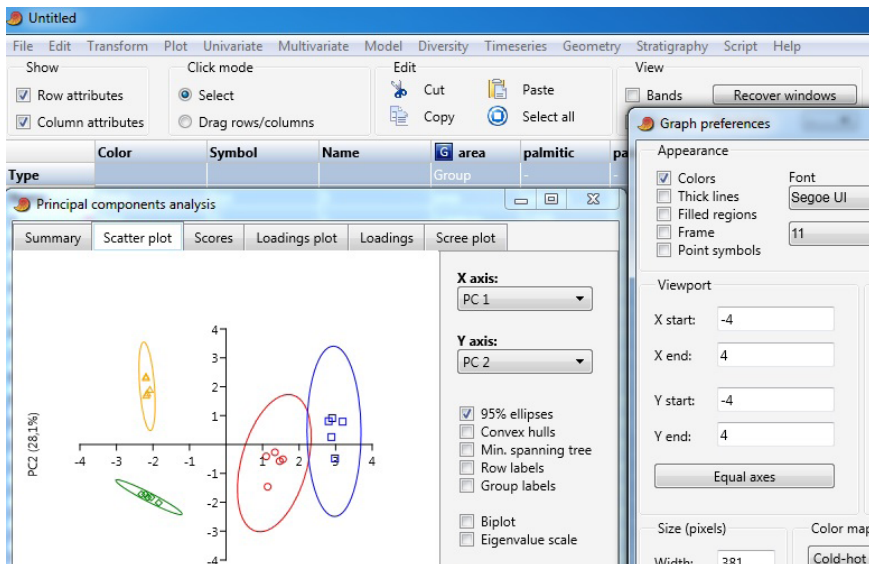
(*Group labels*) nevét, vagy további szerkesztési lehetőségeket érhetünk el a *Graph settings* gombra kattintva (38. ábra).



36. ábra. Főkomponens-elemzés kiválasztása Past programban

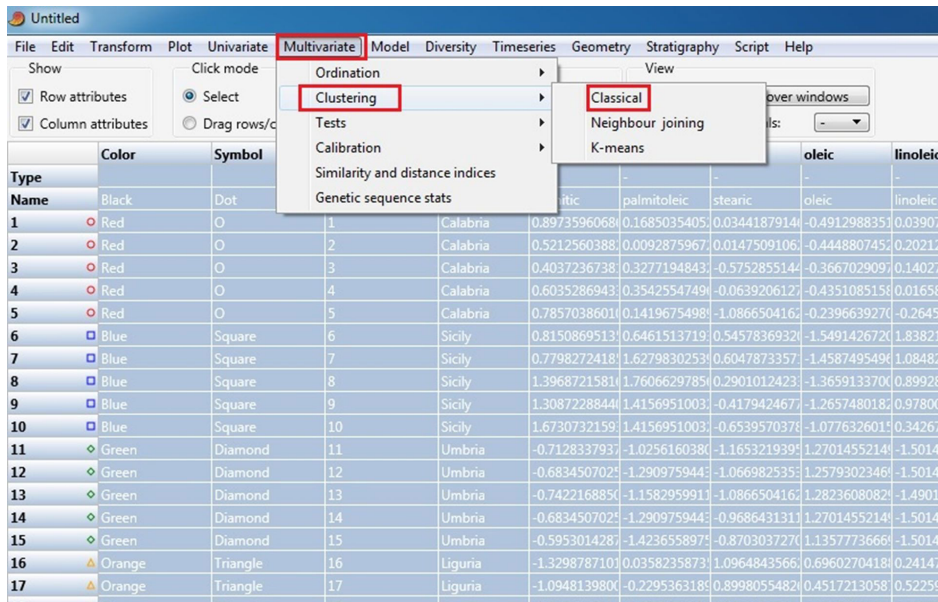


37. ábra. Főkomponens-elemzés beállítása és a kapott eredmények folytonos változókra



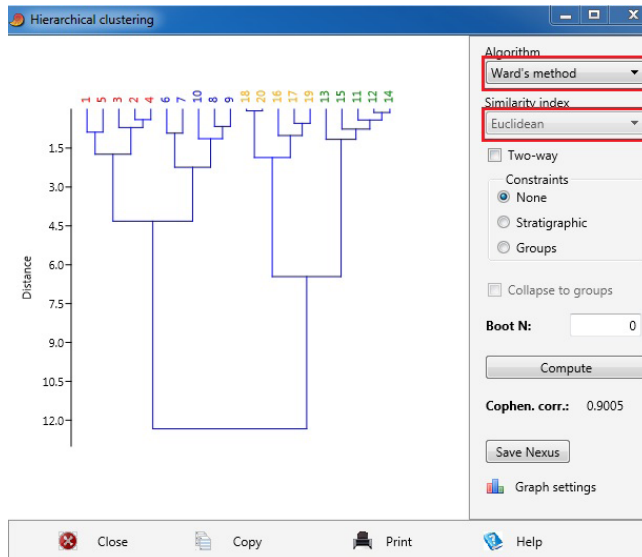
38. ábra. Főkomponens-elemzéssel kapott ábra és annak szerkesztési lehetőségei

Klaszterelemzéshez válasszuk, szintén a *Multivariate* fülön belül, a *Clustering*, majd a *Classical* lehetőséget (39. ábra).



39. ábra. Klaszterelemzés kiválasztása Past programban

A megjelenő ablakban ki kell választani az alkalmazásra kerülő algoritmust (*Algorithm*) és hasonlósági indexet (*Similarity index*), amely alkalmazható folytonos változókra. Algoritmusnak válasszuk a Ward-módszert (*Ward's method*), hasonlósági indexnek pedig az euklideszi távolságot (*Euclidean*). Klaszterelemzésnél a csoportok közötti távolságokat a Ward-módszerrel érdemes számolni, mivel sokkal hatékonyabb, mint a *Paired group (UPGMA)* (unweighted pair group method with arithmetic mean – súlyozott párcsoportos módszer számtani átlaggal). A Ward-féle eljárás azokat a klasztereket vonja össze, melyeknél az összevonas során a legkisebb lesz a belső szórásnégyzet növekedése, míg az UPGMA egy átlagtávolságot számol a klaszterek között úgy, hogy az összes csoporttag közötti különbségnek veszi az átlagát. A megfelelő választások után a *Compute* gombra kattintva megjelenik a megfelelő grafikon, ami a *Graph settings*re kattintva szerkeszthető (40. ábra).



40. ábra. Folytonos változók klaszterelemzésével kapott grafikon

Mentsük el a grafikonokat jpg formátumban, majd másoljuk be egy Word-dokumentumba és értelmezzük.

II. KÖRNYEZETVÉDELEM

II. 1. Az ivóvíz minőségét meghatározó paraméterek meghatározása és vizsgálata

Romániában az ivóvíz minőségének nyilvánítható víz különböző minőségjelző paraméterei törvény által meghatározottak. Ivóvíznek nevezhetjük azt a vizet, amelyet emberi fogyasztásra alkalmasnak nyilvánítanak (Dávidovits 2011; LEGE 311 28/06/2004 – Portal Legislativ 2004; LEGE 458 08/07/2002 – Portal Legislativ 2002; Sebestyén 2011):

a) bármilyen természetes állapotú vagy kezelésen átesett víz, amelyet ivásra, főzésre vagy egyéb háztartási célokra használnak, függetlenül az eredetétől és attól, hogy vezetékes hálózatból, tartályból vagy palackban forgalmazzák,

b) az összes élelmiszeriparban hasznosított, emberi fogyasztásra szánt termékek gyártásához alkalmazott víz,

c) olyan helyi forrásokból (kutak, források) származó vizek, amelyeket fogyasztási célokra használnak.

Az ivóvíz egészséges és tiszta kell legyen, mentesnek kell lennie olyan mikroorganizmusoktól, parazitáktól vagy anyagoktól, amelyek száma vagy koncentrációja potenciális veszélyt jelenthet az emberi egészségre. Az ivóvíz minősége megfelelő, ha a törvény által meghatározott mérőpontokon a paraméterek megfelelnek törvény által megengedett maximális értékeknek.

(LEGE 311 28/06/2004 – Portal Legislativ 2004; LEGE 458 08/07/2002 – Portal Legislativ 2002).

Az ivóvíz esetén minőségi mikrobiológiai (4. táblázat), kémiai (5. táblázat) és indikátorjellemzőket (6. táblázat) különítenek el (LEGE 458 08/07/2002 – Portal Legislativ 2002).

A gyakorlat során a hallgatók által begyűjtött ivóvízmintákat vizsgáljuk meg, különböző szempontok alapján. A méréseket sterilizált, kétszeresen desztillált vizen is elvégezzük. Összehasonlítjuk a különböző típusú vizeket (kút/csap/desztillált víz) a különböző paraméterek alapján.

4. táblázat. Mikrobiológiai jellemzők

Jellemző (Parametru)	Határérték (Valoare admisă)	Jellemző (Parametru)	Határérték (Valoare admisă)
<i>Escherichia coli (E.coli)</i>	0 darab/100 ml	<i>Fekális enterococcusok</i>	0 /250 ml

5. táblázat. Kémiai jellemzők

Jellemző	Határérték	Jellemző	Határérték
<i>Akrilamid</i>	0,1 µg/l	<i>Réz</i>	0,1 mg/l
<i>Arzén</i>	10 µg/l	<i>Diklóretán</i>	3,0 µg/l
<i>Benzol</i>	1,0 µg/l	<i>Epiklórhidrin</i>	0,1 µg/l
<i>Benz(a)pirén</i>	0,01 microg/l	<i>Fluorid</i>	1,2 µg/l
<i>Bór</i>	1,0 microg/l	<i>Higany</i>	1,0 µg/l
<i>Bromátok</i>	10 microg/l	<i>Nikkel</i>	20 µg/l
<i>Kadmium</i>	5 microg/l	<i>Nitrátok</i>	50 mg/l
<i>Vinil-klorid</i>	0,50 microg/l	<i>Nitritek</i>	0,50 mg/l
<i>Cianid</i>	50 µg/l	<i>Ólom</i>	10 µg/l
<i>Szabad cián</i>	10 µg/l	<i>Szelén</i>	10 µg/l
<i>Króm</i>	50 µg/l	<i>Antimon</i>	5 µg/l
<i>Tetraklóretán és triklóretán</i>	10 µg/l	<i>Policiklusos aromás szénhidrogének</i>	0,1 µg/l
<i>Peszticidek (osztályonként) (*aldrin, dieldrin, heptaklór és heptaklór-epoxid)</i>	0,1 µg/l *0,03 µg/l	<i>Teljes peszticid mennyiség</i>	0,5 µg/l
<i>Összes trihalometán</i>	100 µg/l		

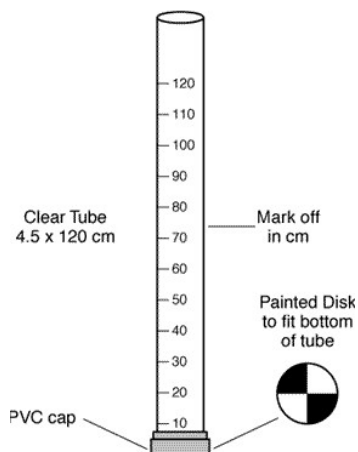
6. táblázat. Indikátor vízminőség-jellemzők

Jellemző	Határérték	Jellemző	Határérték
<i>Alumínium</i>	200 µg/l	<i>Szulfát</i>	100 µg/l
<i>Ammónium</i>	0,5 mg/l	<i>Zavarosság</i>	A fogyasztó számára elfogadható, nincs szokatlan változás
<i>Koliform bakt.</i>	0 /100 ml	<i>Kémiai oxigén igény</i>	5 mg O/l
<i>Összes szerves szén</i>	Nincs szokatlan változás	<i>pH</i>	6,5 és 9,5 között
<i>Klorid</i>	250 mg/l	<i>Nátrium</i>	200 mg/l
<i>Clostridium perfringens</i>	0 /100 ml	<i>Szulfát</i>	250 mg/l
<i>Szabad klór</i>	0,5 mg/l a hálózatba lépéskor 0,25 mg/l a hálózat végénél	<i>Íz</i>	A fogyasztó számára elfogadható és nincs szokatlan változás
<i>Vezetőképesség</i>	2500 µS/cm 20 °C-on	<i>Telepszám 22 C°-on</i>	Nincs szokatlan változás

Jellemző	Határérték	Jellemző	Határérték
<i>Szín</i>	A fogyasztó számára elfogadható és nincs szokatlan változás	<i>Szag</i>	A fogyasztó számára elfogadható és nincs szokatlan változás
<i>Keménység</i>	Minimum 5 német keménységi fok (nk°)	<i>Összes alfa aktivitás</i>	0,1 Bq/l
<i>Vas</i>	200 µg/l	<i>Összes indikatív dózis</i>	0,10 mSv/an
<i>Mangán</i>	50 µg/l	<i>Összes beta aktivitás</i>	1 Bq/l
<i>Cink</i>	5000 µg/l	<i>Tritium</i>	100 Bq/l

A víz zavarosságának (turbiditásának) vizsgálata

A zavarosság mértéke a vízben levő különböző típusú szennyeződésektől függ. Minél több részecske található a vízben, annál zavarosabb lesz (Ahmad et al. 2021; Sebestyén 2011). Ennek mennyiségi meghatározása optikai úton történik, különböző módszerekkel – ideális esetben elektronikus turbiditásmérők segítségével (*A víz zavarosság mérésének titkai* é. n.; Lendvai 2008b). Ennek hiányában a zavarosság vizsgálata a terepen felszíni vizek esetén Secchi-féle koronggal laboratóriumban egyszerűbb turbiditásmérőkkel is történhet (Lendvai 2008b). Ilyen a Secchi-henger, ami tulajdonképpen egy üveghenger, aminek az aljára van rögzítve egy Secchi-korong. A vizet a hengerből fokozatosan ki kell engedni, meghatározván azt a vízszlopmagasságot, ahol a henger alján levő Secchi-korong láthatóvá válik (41. ábra).



Forrás: <https://www.gvsu.edu/wri/education/instructors-manual-turbidity-10.htm>

41. ábra. Turbiditásmérő henger

A turbiditás mérésére több mértékegység is létezik: NTU (Nephelometric Turbidity Unit), FTU (Formazine Turbidity Unit) vagy JTU (Jackson Turbidity Unit) (*A zavarosság-mérés – Asztali és hordozható zavarosság-mérők* é. n.). Ha különböző vizek zavarosságát szeretnénk összehasonlítani, fontos az, hogy ugyanazzal a módszerrel és mértékegységgel dolgozzunk.

Anyagok és eszközök

– turbiditásmérő henger

Végrehajtás

Töltsük fel a vizsgálandó vízzel az üveghengert, állapítsuk meg, hogy a henger alján levő Secchi-korong milyen vízoszlopmagasságnál látható még. Az értékelést foglaljuk bele a gyakorlati ív végén található táblázatba.

A víz szagának vizsgálata

A víz szagát a benne feloldott különböző anyagok fogják meghatározni.

Anyagok és eszközök

– 100 cm³-es főzőpohár,

– borszeszegő.

Végrehajtás

Körülbelül 100 cm³ vizsgálandó vizet szagoljunk meg. Ezt követően 50 °C-ra melegítsük fel, és újra szagoljuk meg. A szag minősítésére az alábbi jelzőket alkalmazhatjuk (Varga–Házlinger 2009):

– szagtalan,

– földszagú,

– enyhén kellemetlen szagú,

– gyengén, közepesen vagy erősen záptojásszagú,

– gyengén, közepesen vagy erősen bűzös.

A víz pH-vizsgálata

A természetes vizek pH-ját a benne oldott anyagok határozzák meg (Varga–Házlinger 2009). A vizsgálatok során még az esővíz sem bizonyul semlegesnek, mert mindig tartalmaz több-kevesebb oldott szén-dioxidot. A különböző élőhelyek vizének pH-ja alapvetően határozza meg az ott előforduló életközösséget.

Anyagok és eszközök

– főzőpohár,

– indikátorpapír vagy elektromos pH-mérő.

Végrehajtás

Vizsgáljuk meg a vízminták pH-értékét, és a kapott értékeket vezessük a gyakorlati ív végén található táblázatba!

A víz fajlagos vezetőképességének vizsgálata

Valamely anyagnak a fajlagos ellenállása a belőle készült egy cm² élhosszúságú kocka két szemben levő oldala között mérhető elektromos ellenállása,

egysége az ohm/cm (Szilágyi 2011). A vezetőképesség az elektromos ellenállás reciproka, egysége tehát 1/ohm, amely az SI-rendszerben a Siemensnek (S) felel meg, a fajlagos vezetőképességé pedig a S/cm lenne. Azonban ez túl nagy fajlagos vezetőképességet jelent, ezért a természetes vizekben a mS/cm-t, illetve a $\mu\text{S/cm}$ -t használjuk. A víz elektromos vezetőképessége a víz iontartalmától függ. Mivel a desztillált vízben csak H^+ - és OH^- -ionok vannak, ezért ennek a vezetőképessége rossz (Szilágyi 2011).

Anyagok és eszközök

- Berzelius-pohár,
- elektromos EC-mérő.

Végrehajtás

A vízmintát öntsük egy tiszta Berzelius-pohárba, helyezzük be a mérőkészüléket a vízbe, és olvassuk le az eredményt. A kapott értéket vezessük be a gyakorlati ív végén található táblázatba!

Akvarisztikában is használatos különböző tesztelőcsíkok segítségével a több vízminőségi paramétert könnyen ellenőrizni tudjuk. Természetesen ezek az adatok csak orientatívák lesznek, nem közelítik meg a klasszikus vizsgálati módszerek pontosságát. Ezen gyors tesztek segítségével olyan fontos paraméterekről szerezhetünk információkat, mint a vízkeménység, ammónium-, nitrit-, nitráttartalom. Nem megfelelő értékek észlelése esetén minden esetben érdemes a vizet bevizsgáltatni!

Vízkeménység

A vizek fontos jellemzője a keménység, amit a benne oldott kalcium- és magnéziumsók határoznak meg. A kalcium-hidrogén-karbonát és a magnézium-hidrogén-karbonát az úgynevezett változó keménységet (karbonátkeménység = KH) okozza, amely a víz forralásával megszüntethető, mert a hidrogén-karbonátok a víz forralása közben oldhatatlan karbonátokká alakulnak és kicsapódnak a vízből. A vízben levő egyéb oldott kalcium- és magnéziumsók (szulfátok és kloridok) a víz állandó keménységét okozzák, amely csak vízlágyítással szüntethető meg! A keménységet általában keménységi fokban adjuk meg (7. táblázat). Romániában és Magyarországon jellemzően a német keménységi fokot használják (jele nk° vagy $^\circ\text{d}$), de használatos még a francia keménység (fk°), illetve az angol keménységi skála (ak°) is (Ciobanu 2009; Országos Közegészségügyi Központ 2016; Szilágyi 2011).

7. táblázat. Ivóvíz-keménységi kategóriák

Érték	Jelentés
10 nk° alatt	Lágy
8–18	Közepesen kemény
18–30	Kemény
30 felett	Nagyon kemény

Forrás: Országos Közegészségügyi Központ, 2016

A víz keménysége elsősorban a felhasználhatóságát befolyásolja, de a túl kemény vagy túl lágy vizeknek a hosszú távon való fogyasztása egészségügyi szempontból is problematikus lehet (Ciobanu 2009; Liyanage et al. 2022; Országos Közegészségügyi Központ 2016; Rubenowitz–Lundin–Hiscock 2013).

Ammónium-, nitrit- és nitráttartalom

Ezek a vegyületek különböző tevékenységekből (pl. állatenyésztés, műtrágyázás) származó, sokszor vizelet- és fekáliaszennyvizekből kerülhet a vizekbe. Az intenzív mezőgazdasági tevékenység gyakran jár a víz nitrogéntartalmú vegyületekkel való szennyeződésével (Ahmad et al. 2021; Liu et al. 2020; Zhang et al. 2021). Természetes módon, bakteriális tevékenység során keletkezik az ammóniumból nitrit, majd a nitritből nitrát (nitrifikáció). A magas nitrit- és nitráttartalom rontja a talajvíz minőségét, és az emberi szervezetre, az egészségre is károsan hat (Országos Közegészségügyi Központ 2016; Zhang et al. 2021). A kútvizek nitrit-/nitráttartalma jóval gyakrabban haladja meg a törvény által megszabott határértéket, mint a vezetékes vízé (Lupulescu–Tudor–Iancu 2008). A magas nitrit- és nitráttartalmú víz kisgyerekekre a legveszélyesebb, mivel methemoglobinémiát okozhat – ami a vér oxigénszállító funkciójának zavara miatti fulladásos halálhoz vezethet (Ahmad et al. 2021; Lupulescu–Tudor–Iancu 2008; Országos Közegészségügyi Központ 2016). Romániában az 1985 és 2005 közötti periódusban több mint 6000 ilyen esetet regisztráltak, ezek közül több halállal végződött. A probléma hazánkban elsősorban az elmaradottabb vidéki településeket érinti (Lupulescu–Tudor–Iancu 2008).

Anyagok és eszközök

- főzőpohár,
- vízminőség vizsgálatára szolgáló tesztcsik.

Végrehajtás

A tesztcsikot helyezzük be a vízbe 2-3 másodpercre, majd vegyük ki. Egy perc leteltével összehasonlítjuk a tesztcsik színeit a mellékelt színskálával. A kapott értéket tüntessük fel a táblázatban!

8. táblázat. *A gyakorlat során kitöltött táblázat*

Vizsgált paraméterek	Vízmintá 1	Vízmintá 2	Vízmintá 3
Szín			
Zavarosság			
pH			
Fajlagos vezetőképesség (EC)			
Szag			

Vizsgált paraméterek	Vízmintá 1	Vízmintá 2	Vízmintá 3
Keménység			
Nitrát			
Nitrit			
Ammónium			

II.2. Makrogerinctelenek vizsgálatán alapuló patakvíz-minősítés

A vizek minőségét igen jól lehet jellemezni különböző vízi élőlényközösségek fajösszetételével (Abbasi–Abbasi 2011). A különböző kémiai és fizikai paraméterek mérése ugyan fontos információkat tartalmaz, de ezek az információk csupán egy pillanatnyi képet mutatnak a víztestről. A vízi élőlények vizsgálata a szennyezőanyagok jelenlétéről időben messzebbre visszanyúló képet tud adni. A biológiai vízminősítéshez gyakran használt csoport a bentoszban élő makrogerinctelenek csoportja, ugyanis meghatározásuk más csoportokhoz (mondjuk a kovamoszatokhoz) képest egyszerűbb, gyűjtésük is jól kivitelezhető, ellenben a közösség összetétele jól tükrözi a víztest szennyezettségi állapotát (Abbasi–Abbasi 2011).

A gyorsfolyású vizekben gyakran előforduló makrogerinctelen csoportokat a szennyeződésre való érzékenység alapján osztályozhatjuk, majd a különböző csoportok jelenlétéből, illetve tömegességéből különböző számítások alapján tudunk következtetni a folyóvíz ökológiai állapotára (Borsos 2017; Hilsenhoff 1988; Takács 2017; Zimmerman 1993):

- szennyezésre érzékenyek az álkérész és bizonyos kérész- és tegzeslárvák,
- kevésbé érzékenyek a szitakötők lárvái, a bolharákfajok, laposférgek,
- jól tolerálják a szennyeződést az árvaszúnyog- és szúnyoglárvák, csövjőféreg, zengőlégylárvák.

Számos, különböző makrogerinctelenek vizsgálatán alapuló vízminősítési módszer terjedt el (Abbasi–Abbasi 2011; Bazsáné dr. Szabó 2008). Az első valódi biotikus indexek a floridai patakokra kifejlesztett Beck biotikus index (1954) és Trent biotikus indexek – TBI (1964). Ez utóbbi több, Európában is alkalmazott biotikus indexnek a megalapozója. Ilyenek a Franciaországban kifejlesztett indice biotique (1968), a skóciai Chandler's biotic score (1970) vagy a belga biotikus index – BBI (1983) (Abbasi–Abbasi 2011; Juhász–Kiss–Müller 2009). Szintén Észak-Amerikában kifejlesztett és kisebb-nagyobb módosításokkal általánosan használt a Hilsenhoff-index (Hilsenhoff 1987).

A jegyzetben a Belga Biotikus Indexen alapuló közoktatásban is jól használható BISEL-rendszert fogjuk használni. Előnyei közé tartozik, hogy nem igényel

specifikus szaktudást és felszereltséget, de mégis Európa nagy részén használhatónak bizonyult (Bazsáné dr. Szabó 2008; Bodáné Kendrovics 2011; Takács 2017). Az elv az, hogy minél érzékenyebb egy élőlény, annál tisztább vízben fogjuk megtalálni. Ugyanakkor az is elmondható, hogy a tisztább vizekben a fajgazdagság is nagyobb lesz.

A mintavétel a bentoszból (aljzat) történik, speciális, erre kialakított mintavevő háló segítségével (42. ábra) (Takács 2017; Várbiro et al. 2015).



Forrás: <https://madardaloskert.hu/termek/makrozoobentosz-mintavevo-halo-eu-vki/>

42. ábra. *Mintavevő háló a bentosz makrogerinctelen faunájának tanulmányozásához*

A mintavételi pont a vízfolyás jellemző szakasza legyen, ahol a mintavételezés könnyen kivitelezhető. Településen átfolyó patak/folyó esetén legalább három helyszínt választunk: egy legyen a településen belül, egy a település előtt és egy utána. Feljegyezzük a mintavételi helyszínt (helységnév és GPS-koordináta), a mintavétel körülményeit. A mintavételi helyszínekről, valamint a gyűjtött mintáról érdemes fényképet készíteni (Takács 2017; Várbiro et al. 2015).

A mintavételhez a hálót végighúzzuk az aljzaton (folyóvíz esetén folyásiránnyal ellentétesen) úgy, hogy a háló pereme éppen csak érintse az aljzatot, majd 15–20 méteren 5 percen keresztül. Ha több mintavételi pont vízminőségét hasonlítjuk össze, akkor a mintavétel paraméterei egyezzenek meg. A mintából származó legtöbb élőlényt a BISEL-módszer alkalmazásakor nem szükséges faji szintig meghatározni. Szétválogatásuk nagyító segítségével akár a helyszínen is megtörténhet (Takács 2017). Segítségünkre lehetnek ebben különböző terepen is használható határozókönyvek.

Anyagok és eszközök





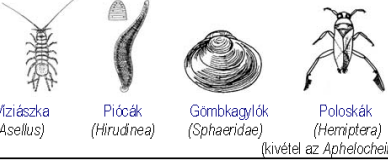


- nyeles mintavevő háló,
- gumicsizma (mélyebb vízfolyások esetében mellcsizma),
- veder,
- nagyméretű, lehetőleg fehér műanyag tálca,
- kisebb edények és tálcák (a gyűjtött anyag csoportosítására),
- csipeszek,
- a vízfolyás különböző paramétereinek vizsgálatára szolgáló eszközök (hőmérő, EC-mérő, pH-mérő),
- jegyzetfüzet és grafitceruza,
- kézi nagyító,
- mikroszkóp,
- fényképezőgép,
- határozókönyvek (Borsos 2017).

Végrehajtás

Minden vizsgálati pontról mintát veszünk a bevezetőben leírtak szerint. A gyűjtött anyagot a helyszínen a nagyméretű (lehetőleg fehér) műanyag tálcára borítjuk ki, innen fogjuk a makrogerincteleneket válogatni és szortírozni. A főbb csoportok elkülönítésére használunk határozót. A vízi makrogerincteleneket kevésbé ismerők számára is jól használható erre a célra a Borsos Sándor által szerkesztett vízbiológiai munkafüzet (Borsos 2017). Bizonyos taxonok beazonosítására online képes határozókat is használhatunk (Haney 2013). A szabad szemmel nehézkesen elkülöníthető csoportok meghatározásához használunk mikroszkópot vagy kézi nagyítót.

9. táblázat. *Mintavételi adatlap*

Intézmény		Sorszám	
Mintavételezést végző személy (név)			Dátum
Helyszín	Megye és település	Koordináta	
Vízfolyás paramétere	pH	EC	T
Sorszám	Csoport	Egyedszám	

I. Indikátorcsoportok	II. érzé- kenység	III. taxon- szám	IV. összes taxon száma				
			0-1	2-5	6-10	11-15	>16
			Biotikus Index				
 Álkérészek (<i>Plecoptera</i>) Erezett kérészek (<i>Heptageniidae</i>)	1	≥ 2	-	7	8	9	10
		1	5	6	7	8	9
 Házas tegzesek (<i>Trichoptera</i>)	2	≥ 2	-	6	7	8	9
		1	5	5	6	7	8
 Sapkacsigák (<i>Ancylidae</i>) Kérészek (<i>Ephemeroptera</i>) kivétel a <i>Heptageniidae</i>	3	≥ 2	-	5	6	7	8
		1	3	4	5	6	7
 Fenéktjáró poloska (<i>Aphelocheirus</i>) Szitakötők (<i>Odonata</i>) Bolharák (<i>Gammaridae</i>) Puhatestűek (<i>Mollusca</i>) kivétel <i>Sphaeriidae</i> és <i>Ancylidae</i>	4	≥ 1	3	4	5	6	7
 Viziászka (<i>Asellus</i>) Piócák (<i>Hirudinea</i>) Gombkagylók (<i>Sphaeriidae</i>) Poloskák (<i>Hemiptera</i>) (kivétel az <i>Aphelocheirus</i>)	5	≥ 1	2	3	4	5	-
 Csővájó féreg (<i>Tubificidae</i>) Árvaszúnyogok (<i>Chironomus thummi-plumosus</i>)	6	≥ 1	1	2	3	-	-
 Herelégy / pocikféreg (<i>Syrphidae</i>)	7	≥ 1	0	1	1	-	-

43. ábra. A Bisel-programban használt szabványos táblázat

Minden egyes mintavétel után a kapott egyedszámokat az alábbi táblázatba rendezzük (9. táblázat).

A terepmunka után összesítjük az összes talált indikátor taxonszámát, majd csoportosítjuk őket a szennyeződéserősség alapján, alkalmazva a Biesel-programban használt szabványos táblázatot (43. ábra). Csak azokat az indikátorcsoportokat vehetjük figyelembe, ahol egynél több egyedet találtunk. A legérzékenyebb indikátorcsoportoknál az értéket tovább finomítja az abból a taxonból talált csoportok száma. A BISEL-index értékét az össz taxonszám és a legnagyobb érzékenységi osztály metszete fogja adni (Bazsáné dr. Szabó 2008; Bodáné Kendrovics 2011; Takács 2017).

Az eredmények értékelése a kapott pontszámok alapján történik. A legmagasabb, 9–10-es, kék színnel jelölt pontszám esetén vizsgált víz nagyon tiszta, szennyeződésmentes, míg a 7–8 (zöld) enyhén szennyezett, 5–6 (sárga) mérsékelten szennyezett, 3–4 (narancs) szennyezett, 1–2 (piros) pont erősen szennyezett vizet jelent.

II.3. A levegő minőségét meghatározó paraméterek vizsgálata

A levegő egy gázelegy, mely a Földet körülvevő légkörnek (atmoszférának) nevezett gázburkot alkotja. Ennek a tömegvonzás (gravitáció) által megtartott gázburoknak többrétegű szerkezete van, míg végül éles határ nélkül megy át a bolygóközi térbe, ezért felső határa nem egyértelműen meghatározható. Összetétel alapján két nagy réteget különböztetjük meg: a nagyjából homogén összetételű homoszférát, illetve a héliumot és hidrogént is tartalmazó külső réteget, a heteroszférát. Hőmérsékleti sajátosságai alapján a következő rétegeket különböztetjük meg: troposzféra, sztratoszféra, mezoszféra, termoszféra, exoszféra. Ezek közül a legalsó réteg a troposzféra. Megnevezése a görög „tropos” szóból származik, melynek jelentése: forgás, keverés. Arra utal, hogy ez a réteg állandóan mozgásban van, itt megy végbe az időjárási jelenségek nagy része. Vastagsága a felszíntől számítva forró égővi (trópusi) területeken húsz km körül van, míg sarkvidéken körülbelül ennek fele. A troposzféra a légkör legsűrűbb rétege, az atmoszféra tömegének 80%-át teszi ki. Egy liter levegő tömege 1,293 gramm. Tiszta állapotban színtelen, szagtalan (Mészáros 2003).

A légkör mai összetétele hosszú folyamat során alakult ki. Fontosabb alkotói térfogatszázalékban megadva: 78,08% nitrogén, 20,93% oxigén, 0,93% argon és egyéb gázok (főleg nemesgázok) 0,002%. Az egyéb gázok olyan nyomgázok, melyek csak nagyon kis mennyiségben (nyomokban) vannak jelen a levegő összetételében, mint például a szén-dioxid, metán, nemesgázok. Viszont egyes összetevők mennyisége a levegőben nem ennyire állandó, napjainkban is változik. Ennek függvényében a légkört alkotó gázok három csoportját különböztetjük meg. Azokat az összetevőket, melyek mennyisége hosszú időn át változatlan, változások csak földtörténeti idő-

skálán észlelhetők, állandó gázoknak nevezzük. Idetartozik a nitrogén, az oxigén és a nemesgázok. A következő csoportot a változó gázok alkotják, melyek mennyisége néhány évtizeden belül észrevehetően változik. Ilyen például a szén-dioxid, metán, hidrogén, ózon. A harmadik csoportba azok a gázok tartoznak, melyek mennyisége néhány nap vagy hét alatt is jól érzékelhetően megváltozik. Ilyen erősen változó gáz a vízgőz, szén-monoxid, ammónia, kén-dioxid (Péczy 2009).

A levegőben található vízgőz mennyisége függ a hőmérséklettől. Minél magasabb a levegő hőmérséklete, annál több vízgőzt tartalmazhat. A napsugarak hatására a tengerek, tavak, folyók vize párolog. A felmelegedett levegő a vízgőzzel együtt fölfelé áramlik. A légkör magasabb rétegeiben azonban a hőmérséklet folyamatosan csökken, ezért a vízgőz egy része kicsapódik, visszaalakul folyékony vízzé (Lendvai 2008c). A levegő különböző hőmérsékleteken különböző mennyiségű vizet képes megtartani (10. táblázat).

10. táblázat. *A levegő legnagyobb vízgőztartalma különböző hőmérsékleteken*

Hőmérséklet (°C)	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Páratartalom (g/m³)	0,4	0,7	1,1	1,6	2,4	3,4	4,8
Hőmérséklet (°C)	5	10	15	20	25	30	35
Páratartalom (g/m³)	6,8	9,4	12,8	17,3	23,1	30,4	39,6

A levegő páratartalma kifejezhető abszolút és relatív páratartalomban. Az abszolút páratartalom megmutatja, hogy hány gramm vízgőzt tartalmaz 1 m³ levegő. A relatív páratartalom megadja a levegőben lévő vízpára %-os értékét az adott hőmérsékleten, a vízgőzzel teljesen telített levegő víztartalmához képest. Ha a levegő relatív páratartalma 100% fölé emelkedik, akkor a benne levő pára kicsapódik, csapadék képződik. Azt a hőmérsékletet, amin ez a jelenség bekövetkezik, harmatpontnak nevezzük (Lendvai 2008c).

Egyes alapgázok a levegő gáz fázisának állandó komponensei. Ilyen a nitrogén, oxigén, argon, szén-dioxid, hidrogén. Ezen kívül a levegőben vendéganyagok is megjelennek, melyek lehetnek más gázok, vízgőz vagy akár szilárd halmazállapotú részecskék (por, korom, füst). Amikor a szennyező anyagok mennyisége meghaladja a kísérletekben megállapított élettani határértékeket, vagyis káros hatást fejt ki a növényekre, az állatokra és az emberre, levegőszennyezésről (légszennyezés) beszélünk. A kibocsátó források lehetnek természetes eredetűek, mint a porviharok, erdőtüzek vagy vulkánkitörések szennyező anyagai. Az utóbbi időben viszont, főleg az ipari forradalom óta, egyre súlyosabb terhelést jelentenek a mesterséges, emberi tevékenységből (ipari, mezőgazdasági és lakossági tevékenység) származó szennyező anyagok. Ilyenek például a szén-monoxid (széntartalmú anyagok elégetésekor keletkezik), kén-dioxid (kéntartalmú tüzelőanyagok égésekor, érc kohósításakor, kénsavgyártáskor jut a levegőbe), nitrogén-oxidok (belső égésű motorokból, kén- és salétromsavgyártásból), szerves vegyületek (műanyag,

lakk, gyógyszeripar), porok (tüzelőberendezésekből, vegyi folyamatokból, cementgyártásból, mechanikai műveletekből), radioaktív anyagok (reaktorok bomlási termékeiből, atombomba-kísérletekből). A légszennyező anyagok káros hatása a szennyezésnek kitett emberek egészségi állapotának a romlását okozzák (légzési és vérkeringési zavarok, allergia, rák, szilikózis stb.).

Feladatok

1. Számold ki, mekkora a relatív páratartalma annak a levegőnek, ami
 - a) 5 Celsius fokos, és 3,4 g vizet tartalmaz köbméterenként,
 - b) 5 Celsius fokos, és 1,6 g vizet tartalmaz köbméterenként,
 - c) 5 Celsius fokos, és 5,44 g vizet tartalmaz köbméterenként,
 - d) 15 Celsius fokos, és 12,16 g vizet tartalmaz köbméterenként,
 - e) 15 Celsius fokos, és 3,84 g vizet tartalmaz köbméterenként,
 - f) -25 Celsius fokos, és 0,525 g vizet tartalmaz köbméterenként,
 - g) 30 Celsius fokos, és 12,16 g vizet tartalmaz köbméterenként.
2. Egy légtömeg 30 Celsius fokos, páratartalma 9,4 g/m³, mekkora a relatív páratartalma?

Fokozatosan -5 Celsius fokra hűtjük, mikor jelennek meg benne az első harmatcseppek?

Ezután 10 Celsius fokra melegítjük, mekkora lesz akkor a harmatpontja és a relatív páratartalma?

Légszennyezettség megállapítása zuzmóterkép készítésével

Lehetőséget biztosít a légszennyezők környezetre gyakorolt hatásának a vizsgálatára. A zuzmók érzékenyek a szennyeződésekre, mert kevés klorofillt tartalmaznak, ezért alacsony a fotoszintézis és a metabolizmus rátája, lassú a növekedésük és korlátolt a regenerálódási képességük. Kutikula hiányában a vizet és a tápanyagokat közvetlenül a levegőből is képesek felvenni, de a szennyező anyagok könnyen behatolnak és a különböző anyagok szelektivitás nélkül felhalmozódnak, mivel nem adják le a felvett anyagokat. Különös előny, hogy télen is aktívak, amikor magas a levegő kén-dioxid-tartalma. A szennyeződésekkel szembeni tolerancia fajoként változik. Az egyes fajok jelenléte vagy hiánya alapján a következő zónákat különböztetjük meg (M. Kovács 1992):

- zuzmósivatag: amikor a fákon legfeljebb zöld algák élnek
 - a terület erősen szennyezett, magas a kén-dioxid-tartalom;
- 1. zóna: főként kéregzuzmók világoszürke vagy szürkészöld, töredezett foltokban
 - szennyezett, küzdelmi zóna;
- 2. zóna: főleg sárgazuzmók találhatók
 - mérsékelten szennyezett terület;
- 3. zóna: a fákon még nem, de idős falakon lombos zuzmók is találhatók
 - mérsékelten szennyezett terület;

- 4. zóna: a lombos zuzmók a fák kérgén, köveken egyaránt megtalálhatók
→ kismértékben szennyezett levegőre utalnak;
- 5. zóna: bokros zuzmók figyelhetők meg a fák kérgén, gyakori a tölgyfa-zuzmó is
→ a terület tiszta levegőjű;
- 6. zóna: megjelennek a bokros zuzmók legkényesebb fajai, a szakállzuzmók
→ jelenlétük nagy tisztaságú levegőre utal.

Ülepedő por meghatározása

A mintavétel során ismert nagyságú felületre adott ideig gyűjtik a port. A meghatározás történhet tömeg szerint és mikroszkóppal. Munkamenet: egy Petri-csésze alját kikenjük oldószerben oldott vazelinnel. Az oldószer elpárolgása után kihelyezzük az így előkészített „porcsapdákat” lehetőleg esőmentes helyre, és meghatározott ideig hagyjuk kint. Ez alatt az idő alatt a szálló por leülepszik és beleragad a csésze alján kialakított vékony vazelinrétegbe, amit utólag mikroszkóppal lehet vizsgálni. Meghatározható a darabszám, összehasonlítható különböző helyeken vagy magasságokban az ülepedő por mennyisége.

A vizsgálat hasonló módon elvégezhető a Petri-csésze helyett tárgyilemezt vagy alufóliát alkalmazva. A portartalom gravimetriásan is meghatározható. A növényekre leülepedett porvizsgálathoz jól használható cellulxszalag is. A cellulxra gyűjtött por további vizsgálata mikroszkóppal történik.

II.4. Talajtani vizsgálatok

A talajok szennyezőanyag-terhelése, extrém kémhatásviszonyokat előíró anyagporttal szembeni ellenálló képessége (pufferképessége)

Amennyiben a talajba közvetlenül, vagy a levegővel és/vagy a vízzel közvetítve a talaj termőképességét csökkentő idegen (szennyező) anyagok jutnak, és ezek, illetőleg a belőlük másodlagosan keletkezett (átalakult) anyagok mennyisége (koncentrációja) meghaladja a talaj elbontó képességét (pufferkapacitását), talajszennyezésről beszélünk (Földi–Halász 2009).

Az ipari-technikai fejlődéssel, az urbanizációval jelentősen megnőtt a környezetbe jutó káros, szennyező anyagok mennyisége. A talajba jutott szennyező anyagok sorsa alapvetően másképp alakul, mint a levegőbe, a felszíni vizekbe került anyagoké. Míg a levegőbe vagy élő vizekbe jutott szennyeződések gyorsan szétterjednek, felhígulnak, addig a talajba jutott káros anyagok nem, vagy csak korlátozott távon mozognak, hatásukat tartósan és fokozottan képesek kifejteni.

A környezetkárosító toxikus elemek/vegyületek talajbani mozgékonyságának megítéléséhez és a megfelelő kármentesítési technológia kiválasztásához minde-

nekelőtt a káros anyagok, valamint a talajok fizikai és kémiai tulajdonságainak ismerete szükséges.

A talajok védekező képességét, pufferkapacitását befolyásoló tényezők ismerete döntő szerepet játszhat az esetleges káros (szennyező) hatások kivédésében, hatásmechanizmusának tompításában.

A talajban felhalmozódott szennyező anyagok növényzetre gyakorolt hatása a következő tényezőktől függ:

- a talajban lévő szennyező anyag minőségétől,
- a szennyező anyag azon mennyiségétől, amely a gyökér számára hozzáférhető,
- a növénynek attól a képességétől, hogy átengedi a fémeket a talaj-gyökér érintkezési felületen,
- az ion/vegyület kémiai tulajdonságaitól, oldhatóságától, felvehetőségétől,
- a hatás tartamától és a szervezetbe jutott toxikus anyag koncentrációjától (dózis),
- az élő szervezet állapotától, alkalmazkodó képességétől (kora, fejlettsége stb.),
- a káros hatást befolyásoló más anyagok jelenlététől, hiányától.

A rövid idő alatt nagy mennyiségben felvett toxikus vegyületek akut megbetegedést vagy pusztulást idéznek elő. A toxikus anyagok kis koncentrációja is lehet káros, ha a hatás tartós és rendszeres (Stefanovits–Füleky–Filep 2010).

11. táblázat. A talajszennyeződés legfontosabb forrásai

Pontszerű szennyező források	Nem pontszerű szennyező források
a) Természetes eredetű források	
Ásványi lelőhelyek Egyes geológiai képződmények	természetes (pl. vulkáni) eredetű nedves és száraz kiülepedés a légkörből; árvizek, nagy esők, erős szelek által szállított anyagok; természetes radioaktív sugárzások
b) Emberi eredetű (antropogén) források	
Szennyvizek Szennyvíziszapok Híg trágyák Különböző hulladékok (folyékony, szilárd) Különféle ipari emissziók	Légszennyeződésből származó nedves és száraz kiülepedés; mezőgazdasági vegyszerek (műtrágyák, peszticidek stb.); tüzelőanyagok elégetése (ipar, közlekedés)

Forrás: Stefanovits–Füleky–Filep 2010

A talajok pufferképességét befolyásoló tényezők fizikai-kémiai vizsgálata

A talajnak egyik ismert tulajdonsága a pufferképessége. Képes bizonyos talajba jutó szennyező anyagok kedvezőtlen hatását tompítani, azaz pufferolni. Megakadályozza azok mozgását, ezáltal felszíni vagy felszín alatti vizekbe jutását,

illetve azok növény általi felvehetőségét, a növény-állat-ember táplálékláncba kerülését. Bizonyos koncentráció felett sok elem toxikussá válhat. Például mangán (Mn), bór (B), réz (Cu), szelén (Se) vagy úgynevezett tápanyagterheléssel fenyegetheti a felszíni és felszín alatti vízkészleteinket, másrészt pedig az egyéb forrásokból (pl. ipari termelésből, növényvédelmi eljárásokból) származó ásványi vagy szerves eredetű kemikáliák vagy ezek maradványformáinak ideiglenes immobilizációja kapcsán gátolja ezek toxikus hatásának hirtelen és direkt módon (nagy hatásfokkal) történő megnyilvánulását.

A talaj bonyolult összetételénél fogva tehát a felszínét érő savas vagy lúgos hatások a talaj egészére már csak meglehetősen tompítva jelentkeznek.

A talajban nagy mennyiségben található gyenge savak és ezeknek pl. erős bázisokkal alkotott sóik. A talajban tömegesen található *kalciumkarbonát*, *kalciumhumát*, szénsav, és ott vannak a szerves savak, így a *huminsavak* is. Tekintettel arra, hogy mindezek az említett, a pufferhatásban nagy szerepet játszó alkatrészek a talajban nem kivételesen, hanem tömegesen vannak jelen, a talajnak éppen ezért rendkívül nagy a pufferképessége. Mégpedig annál nagyobb, *minél nagyobb a benne található kolloidok mennyisége*. Ez azzal is összefügg, hogy a kolloidkomplexum potenciálisan gyenge savnak tekinthető, mely a vele egyensúlyban levő oldatokkal, különösen, ha a kolloidkomplexum ionjainak cserélődési lehetőségét figyelembe vesszük, bonyolult reakciókba lépnek, és az adszorpció révén is tompítják azokat a folyamatokat, melyek pl. bevitt sav hatására elsavanyodást hoznának létre. Ezt a kalciumkarbonát közömbösíti.

Ha viszont lúgos hatások érik a talajt, akkor a talajkolloidokon történő *bázisadszorpció* és a *humuszsavak* tompító hatása jelentkezik. Az agyagásványoknak és így az *agyagfrakciónak szintén nagy a szerepe a talaj pufferképességének kialakulásában*.

A legkisebb pufferképessége azoknak a talajoknak van, melyekben csak vázszilikátok vagy túlnyomóan kvarc szerepel. Ez a helyzet például a nagy homokfrakció-részarányal rendelkező talajoknál.

II.4.1. Talajfizikai vizsgálatok

II.4.1.1. A talajok mechanikai összetétele (szemcseméret-eloszlás), textúra vagy fizikai talajféleség vizsgálata

A mechanikai összetétel meghatározásának elvi alapjai

A talajok mechanikai összetétele egy állandó talajtulajdonság (adottság). Mechanikai elemnek a talaj azon részeit nevezzük, amelyeket anyagi sajátosságainak megváltoztatása nélkül, semmiféle aprítási, szétválasztási eljárással nem tudunk tovább bontani. A talaj mint polidiszperz rendszer, sokféle nagyságú szemcséből, sokféle mechanikai elemből áll.

A különböző méretű *frakciók mennyiségi becslését terepen* a következő vizsgálattal végezhetjük:

Gyúrópróba, tapintás

Anyagok és eszközök

– víz

Végrehajtás

A gyúrópróba során evőkanálnyi nedves talajból golyót formálunk:

– Ha ez nem sikerül, a minta szétesik, a talajféleség: homok. A talajmintát ujjaink közt morzsolva karcoló felületeket érzünk.

– Ha sikerül a gombóc, a golyóból megpróbálunk hengert (kb. 0,5 cm átmérőjűt) formálni. Ha szétesik, kirepedezik, homokos vályog talajunk van. A talajmintát ujjaink közt morzsolva, az apró homokszemcséken kívül finom, sima tapintású, púderszerű alkotórészeket is érzünk.

– Ha sikerül hengert formálni, de azt nem lehet meghajlítani, vályogtalajról beszélünk. A talajmintát ujjaink közt morzsolva csak finom, porszerű részeket érzünk, amelyek felülete nem érdes és nem csúszós.

– Ha a hengert meghajlítottuk, de gyűrűvé már nem lehet formázni, a minta vályogos-agyag talaj. A talajmintát ujjaink közt morzsolva a por- és agyagtartalomtól függően gyengébben vagy erősebben tapad.

– Ha sikerült gyűrűt képezni, a talajféleség agyag. A talajmintát ujjaink közt morzsolva síkos, erősen tapadó felületet kapunk.

Szemcsefrakciók elválasztása szitálással és üleptéssel

Laboratóriumi környezetben az egyes szemcsefrakciók elválasztását szitálással és üleptéssel végezzük.



Forrás: <https://www.tecnos.ro/produs/aparat-de-sitat-electromagnetic/>

44. ábra. Mágneses rázólap szitasorozattal

A kavicsot (> 2 mm), valamint a durva homok (2–0,2 mm) frakciókat szitálással különítjük el. Az ennél kisebb részek (por és agyag) szétválasztására a szitálás már nem alkalmas, ebből a célból az ülepitéses (pipettás) megoldást javasoljuk.

Az eredmények száraz anyag mennyiségre vonatkoznak, amelyből levonjuk a feldolgozási veszteségeket.

A szitálást mágneses rázóalapon elhelyezett, csökkenő lyukméretű szitasorozattal (44. ábra) végezzük száraz vagy nedves (a szitasorozaton vizet áramoltatunk) körülmények között.

A folyékony közegben történő ülepedésen alapuló elválasztás („pipettás módszer”) alapja a Stokes-törvény szerint az, hogy a folyékony közegben lévő részecskék ülepedésének sebessége a méretüktől függ. Folyékony közegben egy szabadon mozgó részecske a gravitációs tér hatására kezdetben egyenletesen gyorsuló mozgást végez, majd fokozatosan, a súrlódási erő hatására, állandó sebességet ér el, amely a következő képlet segítségével számítható ki:

$$v = \frac{2g(D_p - D_l)r^2}{9\eta}$$

ahol:

v – a részecskék esési sebessége cm/s-ban,

g – a nehézségi gyorsulás (981 cm/s²),

D_p – a részecskék fajsúlya g/cm³-ben,

D_l – a folyadék fajsúlya munkahőmérsékleten g/cm³-ben,

r – a részecske sugara cm-ben,

η – a folyadék viszkozitása az üzemi hőmérsékleten, g/cm/s-ban.

A folyadék sűrűsége és viszkozitása a hőmérséklettől függ, ezért ezt minden meghatározásnál figyelembe kell venni.

Anyagok

– HCl – 0,2–0,05 n,

– NaOH – 1 n,

– ammónium-oxalát-oldat, 10%-os,

– ezüst-nitrát-oldat, 10%-os.

Eszközök

– táramérleg,

– analitikai mérleg,

– Berzéliusz-pohár – 100 ml-es,

– Erlenmeyer-lombik – 1000 ml-es,

– üvegtölcsér,

– ülepitőhenger – 1000 ml-es,

– porceláncsésze – 25 ml-es,

– homokfürdő,

– Kühn-pipetta.

Végrehajtás

Ha a talaj mechanikai összetételét akarjuk meghatározni, akkor a talaj aggregátumait, szerkezeti elemeit előzőleg egyedi mechanikai elemekre kell szétbontanunk.

Az aggregátumképzésben a CaCO_3 és a humusz jelenléte a legfontosabb tényező. Ezért az előkészítő eljárásoknál a CaCO_3 -ot híg savval, a szerves anyagot H_2O_2 -vel eltávolítjuk. Az aggregátumok megszüntetéséhez a talajt NaOH-oldattal főzzük.

A talaj granulometrikus összetétele Kacinski által javasolt módszerrel történő meghatározásának az az előnye, hogy jó eredménnyel használható a hallgatói képzésre szánt laboratóriumokban. Ezzel a módszerrel a részecskeméretű frakciók diszperzióját úgy érjük el, hogy a mintát 0,2 n sósavoldattal kezeljük, 0,05 n sósavoldattal mossuk, 1 n nátrium-hidroxid-oldattal kezeljük és forraljuk.

Analitikai mérlegben 10 g talajt lemérünk, és előkészítjük a mechanikai elemzéshez. Az így előkészített talajszuszpenziót ülepitőhengerbe visszük, és feltöltjük 1 literre desztillált vízzel. Erősen összerázva, 4 perc és 38 mp elteltével 10 ml-es pipettával mintát veszünk belőle egy analitikai mérlegben előre lemért üvegphárba vagy porceláncsészébe. A kivett mintát homokfürdőn bepároljuk, és meghatározzuk a szárazanyag-tartalmát, ugyancsak analitikai mérlegben mérve. Ilyenkor az iszap és agyag együttes mennyiségét, a leiszapolható részt határozzuk meg, a szárazanyagot az egész talajra vonatkoztatva. Ha az ülepitést 7 óra 43 percig végezzük, az agyag mennyiségét kapjuk. A hengerben visszamaradó rész a finom homok (Jakab–Krézsek 2008).

Számítás

Az adatok kiszámítása a pipettás mechanikai elemzéseknél a következőképpen történik:

$$P\% = \frac{aV}{vB} 100$$

P% – a meghatározandó frakció %-ban,

a – a lemért szárazanyag-mennyiség grammban,

V – az ülepitő henger térfogata (1000 ml),

B – a talaj bemért mennyisége grammban,

v – a pipetta térfogata (10 ml).

Értékelés

Atterberg a kb. nagyságrendű talajrészeket a következőképpen csoportosította:

- durva homok: 2–0,2 mm,
- finomhomok: 0,2–0,02 mm,
- iszap (por): 0,02–0,002 mm,
- agyag: 0,002 mm-nél kisebb.

Az egyes frakciók tulajdonságai nagymértékben meghatározzák a talaj számos tulajdonságát (kötöttségét, tapadóságát, képlékenységét, tápanyag-raktározó képességét, pufferkapacitását) (Jakab–Krézsek 2008).

II.4.2. Talajkémiai vizsgálatok

II.4.2.1. A talajok kémhatásával kapcsolatos vizsgálatok

A talajkémhatás, a talajtani folyamatok jellege és intenzitása között nagyon szoros összefüggés van. A talajkémhatást (az aktuális savasságot) pH-egységben fejezzük ki, ami megfelel a talajoldatban lévő hidrogénionok koncentrációjának negatív logaritmusával.

$$\text{pH} = -\log \cdot a\text{H}^+$$

A pH meghatározásakor csak az oldatban lévő hidrogénionok koncentrációját, vagyis a tényleges savasságot mérjük, ami annyiban tér el a potenciális savasságtól, hogy a talaj kolloidkomplexumában adszorbeált hidrogénionokra nem vonatkozik. Értéke függ az oldat CO_2 -mennyiségétől, a talajoldatban levő egyéb anyagoktól.

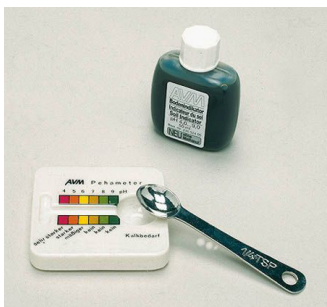
A talajok kémhatásának meghatározása kolorimetriás módszerekkel (gyorsabban) és elektrometriás módszerekkel (pontosabban) végezhető el.

A pH-meghatározás kolorimetriás módszerei

A pH kolorimetriás meghatározása sav-bázis indikátorok felhasználásán alapul, amelyek disszociált és nem disszociált állapotban eltérő színűek.

pH-mérés Hellige-típusú mérővel

A Hellige pH-mérő (45. ábra) egy porcelánlap, melyen gömb alakú mélyedésben végződő hosszanti csatorna tagol, melynek mindkét oldalán 4 és 9 közötti pH-értékeknek megfelelő színskála található. A készlet tartalmaz még egy indikátoroldat-keveréket (metilin-piros és timol-kék oldatok enyhén lúgos közegben 1/2 arányban) tartalmazó csepegtetőpalackot és egy adagolókanalat.



Forrás: <https://www.wetec.com.sg/our-products/soil/product-listing/0810-hellige-ph-indicator>

45. ábra. Hellige-típusú pH-mérő

A pH-méréshez a porcelántányér üregébe tegyünk egy kis zúzott talajt, amelyre cseppenként öntsük az indikátoroldatot, majd egy pálcikával a talajt az oldattal elkeverjük, ezután a porcelántányért oldalra fordítva az oldatot a központi mélyedésbe folytatjuk. Az oldat színének a standard színekkel való összehasonlításával a pH-érték 0,5 egységnyi pontossággal meghatározható.

pH-indikátor fólialapok segítségével

Ez a módszer nagyobb pontosságot kínál, mint az előző. Pontossága akár a 0,1 pH-egységet is elérheti.

Az indikátorfóliák áttetsző cellulózlapok, amelyeket indikátorkeverékekkel impregnáltak (Clark–Lubs-sorozat stb.). A fóliákat a talaj-víz szuszpenzióba helyezik, és az oldatban lévő hidrogénionok koncentrációjának megfelelően változtatják színüket. A talaj-vizes oldatba helyezett fóliák színének összehasonlításával a fóliacsomagolásokra erősített (színes papírból készült) standardokkal meghatározzuk a pH-értéket.

A pH meghatározása potenciometriás módszerekkel

A talaj-kémhatás potenciometriás meghatározása terepen, ebből a célból sajátosan kialakított pH-mérőkkel végezhető. A terepi eszközök (46. ábra) robusztus kialakításúak, közvetlen módon szúrhatók a vizsgálandó talajfelszínbe, leolvasásuk digitális vagy analóg felületről történik. Ábrázolt értékeik a talajnedvesség mértékének függvényében értékelhetők.



Forrás: <https://www.germanelectronics.ro/aparate-de-masura-surse-de-alimentare/aparate-de-masura/aparate-de-masura-factori-de-mediu/aparate-de-masura-lichide/aparate-analiza-sol/tester-ph-sol-stelzner>

46. ábra. Takemura-típusú pH-mérő

A talajkémhatás meghatározása laboratóriumi környezetben

A talaj pH-értékét potenciometriásan 1:2,5 arányú ioncserélt vagy desztillált víz-talaj szuszpenzióban, illetve 1:2,5 arányú KCl-talaj szuszpenzióban határozzuk meg. *Anyagok*

– ioncserélt vagy desztillált víz (pH-érték 6,8–7,0),

– pufferoldat (pH-érték 4,0–7,0–10,0).

Eszközök

– századpontoságú gyorsmérleg,

– mérőlombik,

– kémcső,

– pH-mérő.

Végrehajtás

5 g talajt bemérünk széles kémcsőbe, 12,5 ml ioncserélt vagy desztillált vizet (pH 6,8–7,0) adunk hozzá. A talajszuszpenziót jól felrázzuk, lefedjük, legalább 12 órát sav- és lúgmentes levegőjű helyiségben állni hagyjuk. Mérés előtt a kémcsövek tartalmát újra összerázzuk. A pH-mérő készüléket (47. ábra) bekapcsoljuk, 5 perces várakozás után 7,0-es pH-értékű pufferrel beállítjuk. A készülék beállítását ellenőrizzük 4,0-es és 10,0-es pH-értékű pufferoldattal. Az üvegelektrodót desztillált vízzel leöblítjük, majd a talajszuszpenzióba merítjük. A mért elektród-potenciál különbségnek megfelelő pH-értéket közvetlenül leolvassuk.

A pH-mérő-készülék beállítását 20–25 mérés után ellenőrizni kell (Jakab–Krézsek 2008).



Forrás: <https://www.precisa.ro/wp-content/uploads/2015/04/ph-metru-de-laborator-hanna-hi-110.png>

47. ábra. Laboratóriumi pH-mérő ()

Értékelés

A különböző talajok pH-értékük szerint, a megfelelő értékhatárok alapján, az alábbiakban megadott kategóriákba sorolhatók.

A talajok pH-érték szerinti csoportosítása:

erősen savanyú	<4,5 pH
savanyú	4,5–5,5 pH
gyengén savanyú	5,5–6,5 pH
semleges, közel semleges	6,8–7,2 pH
enyhén bázikus	7,2–8,5 pH
lúgos	8,5–9,0 pH
erősen lúgos	> 9,0 pH

A talajok hidrolitos aciditásának meghatározása (y1, Ah)

Kappen-módszerrel

A hidrolitos aciditás a talaj savasságának egyik mutatója. Az adszorpciós komplexumban megkötött hidrogénionok kiszorításával, oldatba vitelével meghatározhatjuk a talajok rejtett savasságát, információkat kaphatunk a talajok javítására (kémhatásának növelésére) szolgáló meszezőanyag-szükséglet mennyiségére.

A meghatározás elve

A meghatározási módszernek alapja tehát, hogy az adszorpciós komplexumból kiszorítjuk a hidrogénionokat, a lúgosan hidrolizáló só (nátrium- vagy kálium-acetát 1 n) oldatának kationjai segítségével, a képződött ecetsavat titráljuk nátrium-hidroxid-oldattal, fenolftaleinindikátor jelenlétében.

Anyagok

- NaOH 0,1 n oldat $f=1,000$,
- $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ at. n oldata – 82,0 g at tisztaságú CH_3COONa -ot századgramm pontosságú gyorsmérlegben bemérünk 1 l-es mérőlombikba, desztillált vízben feloldjuk, 1-2 ml 1%-os fenolftaleinindikátort adunk hozzá és a jelig töltjük. Az oldat felhasználása előtt addig adagolunk cseppenként $\text{Na}(\text{OH})_2$ -oldatot, amíg az oldat halvány rózsaszínűre színeződik,

- $\text{Na}(\text{OH})_2$ -oldat – 100g NaO-hoz kb. 100 ml desztillált vizet adunk,
- fenolftaleinindikátor, 1%-os.

Eszközök

- polietilén palack (500 ml-es), Erlenmeyer-lombik (250 ml-es, 1000 ml-es),
- mérőhenger (100 ml-es, 1000 ml-es),
- cseppentőüveg,
- tölcser,
- büretta, 25 ml-es, 0,1 ml-es beosztással,
- gyorsmérleg,
- szűrőpapír.

Végrehajtás

Megmérünk 20 g talajt és egy 250–500 cm^3 -es lombikba helyezük. Hozzáadunk 50 cm^3 1 N fenolftaleinhez semleges (pH 8,3–8,4) nátrium-acetát-oldatot. Egy órán át keverjük, majd a kapott szuszpenziót száraz kvantitatív szűrőn azonnal átszűrjük. Pipettával kiveszünk 10 cm^3 -t a szűrletből, és átöntjük egy titrálólombikba. Hozzáadunk 2-3 csepp fenolftaleint, és 0,1 n nátrium-hidroxid-oldattal titráljuk, amíg meg nem jelenik a rózsaszín szín, amelynek 1-2 percig fenn kell maradnia. Feljegyezzük a titrálás során elfogyasztott nátrium-hidroxid mennyiségét.

Számítás

A hidrolitos savasság (Ah) kiszámításához a következő képletet használjuk.

$$\text{Ah (100g talaj)} = \frac{100anV(n-1)^2}{mv} 1,50,$$

ahol:

- Ah – hidrolitos savasság,
 - 100 – 100 g talajnak megfelelő megfeleltetési tényező,
 - a – a titráláshoz használt NaOH mennyisége (cm³),
 - n – a NaOH-oldat ekvivalens töménysége,
 - V – a kivonásra használt oldat összmennyisége (cm³),
 - m – a felhasznált talajmennyiség (g),
 - v – a titráláshoz használt kivonat mennyisége (cm³),
 - 1,50 – szorzótényező.
- Az eredményeket 100 g légszáraz talajra vonatkoztatjuk.

A kicserélődési aciditás meghatározása (y₂, A_s)

A meghatározás elve

A potenciális aciditás azon része, amely akkor szabadul fel, ha a vizsgált talaj 50 g-ját semleges, 1,0 mol/dm³ KCl-dal reagáltatják. A folyamat során a talaj hidrogén- és alumíniumionjait a kálium felszabadítja, s azok nátrium-hidroxid mérőoldattal, fenolftaleinindikátor mellett megtitrálhatók. A számolás hasonló módon történik, mint az előzőekben. A kicserélődési aciditás értéke (y₂) mindig alacsonyabb, mint a hidrolitos aciditásé, mert a kalciumionok megkötődése a talajon mindig nagyobb értékű, mint a káliumionoké (Lendvai 2008a).

Anyagok

- NaOH 0,1 n oldat,
- KCl 1 n oldat,
- fenolftaleinindikátor 1%-os oldat.

Eszközök

- polietilén palack (500 ml-es),
- Erlenmeyer-lombik (250 ml-es és 1000 ml-es),
- mérőhenger (100 ml-es),
- tölcsér (6-7 cm-es),
- büretta (25 ml-es, 0,1-es beosztással),
- cseppentőüveg,
- gyorsmérleg.

Végrehajtás

Kimérünk 20 g talajt és egy 500 cm³-es lombikba tesszük. A talaj fölé mérőhenger segítségével 50 cm³ kálium-klorid-oldatot adagolunk. A talaj/oldat arány ásványi talajok esetén 1/2,5, szerves talajok esetén 1/5. Ezután az edényt körforgó rázógéppel egy órán át rázatjuk, és a kapott szuszpenziót azonnal szűrjük. A szűrletből 10 cm³-t pipettázunk, majd ezt egy titrálólombikba töltjük. Hozzáadunk 2-3 csepp metilvörös indikátort, és titráljuk a képződött sósavat 0,05 n nátrium-hidroxid-oldat segítségével, amíg a halvány narancssárga szín meg nem jelenik.

Számítás

Az As-érték 50 g talajnak megfelelő KCl-os talajkivonat savasságának semlegesítésére fogyott 0,1 n NaOH oldat ml-einek száma. A 20 g talajnak megfelelő 50 ml -n-KCl-os talajkivonat titrálására fogyott 0,1 n-NaOH mérőoldat ml-einek számát -2,5-tel szorozva kapjuk a talaj kicserélődési savanyúságát jellemző As-értéket.

Adszorbeált bázisok összmenyiségének a meghatározása (S, SB)

A meghatározás elve

Az SB-érték a talajban található kalcium-, magnézium-, nátrium- és kálium-ionok összmenyiségét jelenti, milligramm egyenértékben kifejezve, 100 g talajra vonatkoztatva (Jakab–Krézsek 2008).

A kicserélhető bázisok (S) mennyiségét különböző módszerekkel határozzák meg, amelyek a talaj sóoldattal (ammónium-klorid, ammónium-acetát, bárium-acetát) vagy savas oldattal (ecetsav, sósav) történő átmosása után a kolloid komplexumban az adszorbeált bázisok kationcserével történő kiszorításán alapulnak. Az első esetben a komplexben adszorbeált bázisok és a kiszorító kationok (ammónium, bárium stb.) között kationcsere megy végbe, a második esetben pedig a kiszorító ionok hidrogénionok:

A talaj báziskicserélési-kapacitása (S) közvetlenül a kiszorításhoz használt oldat mennyiségéből határozható meg.

A talajkolloidokon a kationok közül elsősorban Ca^{2+} , Mg^{+} , Na^{+} , K^{+} , H^{+} - ion van megkötve. Az alkálifémek és alkáli-földfémek ionjaival telített talajkolloidok vizes közegben lúgos kémhatásúak. A fémion disszociációja miatt az oldatban lúg keletkezik. Erősen savanyú talajokban a nagyobb mennyiségű H^{+} -ion mellett Al^{3+} -, esetleg Fe^{3+} -ion lehet megkötve. A 100 g talaj által megkötött, milligramm egyenértékben kifejezett összes kationmennyiséget adszorpció kapacitásnak nevezzük és T-vel jelöljük.

A kolloidális komplexumban megkötött bázisok kiszorítása a talaj sósavval való reagáltatásával történik. Az adszorbeált bázisok és az oldatban lévő hidrogénionok között reakció megy végbe. A reakció során elfogyasztott sósav mennyisége megegyezik a komplexumból kiszorított bázisok (Ca, Mg, Na és K) mennyiségével. A reakció során elhasznált 0,05 n HCl mennyiségének megállapításához a savfelesleget bázissal titráljuk, indikátorként fenolftaleint használunk.

Az eredményt 100 g légszáraz talajmennyiségre vonatkoztatjuk.

Anyagok

- HCl-oldat 0,1 n,
- NaOH-oldat 0,1 n,
- 1%-os fenolftaleinindikátor-oldat.

Eszközök

- polietilén palack (250 ml-es),

- Erlenmeyer-lombik (200 ml-es, 100 ml-es),
- mérőhenger,
- tölcsér,
- büretta (25 ml-es),
- gyorsmérleg.

Végrehajtás

Gyorsmérleggel bemérünk 5 g talajt és egy 250–500 cm³-es lombikba helyezzük. Hozzáadunk mérőhenger vagy pipetta segítségével 100 cm³ 0,05 n HCl-oldatot. A lombikot egy óra hosszat rázatjuk, majd tartalmát egy száraz szűrőn keresztül egy pohárba töltjük. A szűrlet első részét, amely általában zavaros, elöntjük. A szűrletből egy pipetta segítségével kivonunk 50 cm³-t, amelyet egy kis lombikba helyezünk a sósav feleslegének titrálása céljából. Hozzáadunk 2-3 csepp fenolftaleinindikátort és 0,05 n NaOH-oldattal titráljuk a rózsaszín szín megjelenéséig, feljegyezve az elhasznált mennyiséget (cm³-ben). A titrálás során csapadék képződhet kocsonyás alumínium vagy vas-hidroxid-réteg formájában, amely elnyeli az indikátort és megakadályozza a színváltás megfigyelését. Ennek elkerülésére időnként egy-egy csepp fenolftaleint adunk hozzá. A titrálás melegen is elvégezhető. Ebben az esetben az indikátor hozzáadása után a lombik tartalmát 3-5 percig forraljuk, majd a felforralt oldatot 0,05 n NaOH-val titráljuk, a tartalmát addig keverjük, amíg halvány rózsaszínű színt nem kapunk, aminek 1-2 percig fenn kell maradnia.

Számítás

$$SB = \frac{v_1 f_1 n_1 - v_2 f_2 n_2 (n - 1)^2}{m} r 100$$

SB, me/100g talaj-ban kifejezve

v_1 = a megtitrált sósavoldat térfogata milliliterben,

f_1 = a sósavoldat faktora,

n_1 = a sósavoldat koncentrációja (0,1 n),

v_2 = titrálásra használt NaOH-oldat térfogata, milliliterben,

f_2 = a NaOH-oldat faktora,

n_2 = a NaOH-oldat koncentrációja (0,1 n),

r = a kivonásra használt HCl-oldat térfogata és a titrálásra használt oldat térfogatának aránya,

m = a vizsgálatra bemért talaj tömege, grammban.

Az adszorbeált bázisok összmenntisége

Az SB-érték segítségével a talaj bazoid kationokban való telítettségének mértékét (V%) fejezhetjük ki. A V% összefügg a talaj kémhatásával: minél telítetlenebb a talaj, annál kisebb a pH-értéke. A telítetlen talaj kedvezőtlen tulajdonságú.

$$V\% = (SB/T)100$$

$$T = SB + Ah$$

A kationcserélő képesség meghatározása

A talaj kationcserélő képességét a benne található (általában agyagból és humusból felépülő) kolloidális komplexumok mennyisége határozza meg.

A talajban adszorbeált formában megtalálható kationok összessége alkotja a talaj teljes kationcsere-kapacitását (T). A teljes cserekapacitás (T) egy időben magába foglalja mind az egy- és kétértékű alkálifémek kationjait (Na, K, Ca, Mg), mind a H-kationokat.

Telített talajokban a V-érték százalékban kifejezett mennyisége nagyobb 80%-nál, míg az erősen telítetlen talajokban kisebb 50%-nál. A talajok T-értékének meghatározására számos eljárás létezik. Ennek egyik általánosan bevett módja a talajok nagy töménységű ammóniumoldattal való telítése. Feltételezve, hogy az ammónium az összes kicserélhető módon adszorbeált kationt lecseréli, az ammóniumkoncentráció csökkenéséből kiszámolható a talaj kationcserélő képessége is (Szalai–Jakab 2011).

II.4.2.2. A szénsavas mésztartalom meghatározása

A Ca a negyedik tápelem a talajban. A Ca szerepe, azon kívül, hogy növényi tápanyag, azért is fontos, mert mennyisége szabályozza a talaj pH-visszonyait, és ezen keresztül számos olyan tényezőt befolyásol, amelyek a talajok egyéb tápanyagaira is hatnak (Jakab–Krézsek 2008).

A talajban levő Ca fő megjelenési formái:

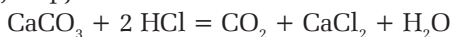
- a) CaCO_3 (kalcit, aragonit),
- b) $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (dolomit),
- c) $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ (apatit).

A mésztartalom meghatározása terepen

A mésztartalom mennyiségét a sósav hatására bekövetkező pezsgés alapján tudjuk becsülni.

A meghatározás elve

A vizsgálat azon alapszik, hogy a talaj mésztartalmáért felelős CaCO_3 és CaHCO_3 sósavval CO_2 keletkezése közben reagál. A pezsgés (CO_2 keletkezés intenzitása) alapján következtetünk a minta mésztartalmára.



Anyag és eszköz

- 10%-os sósavoldat,
- cseppentőüveg.

Meghatározás

A vizsgálandó talajminta felszínére 10%-os HCl-oldatot cseppentünk. Látással és hallással észleljük a pezsgési reakció hevességét.

Értékelés

A reakcióhevesség alapján a talajok szénsavas mésztartalmát terepi viszonyok között a 13. táblázat szerint értékeljük:

13. táblázat. Talajok szénsavas mésztartalmának az értékelése

A pezsgés mértéke	A mésztartalom (%-ban)
nincs pezsgés	0
pezsgés nincs, de sercegés hallható	<1
gyenge pezsgés	1–2
közepes pezsgés	2–5
erőteljes rövid pezsgés	5–10
erőteljes tartós pezsgés	>10%

A szénsavas mésztartalom meghatározása laboratóriumban*A meghatározás menete*

A talaj karbonáttartalmának laboratóriumi meghatározására (a reagensadagolás módja szerint) különböző módszereket alkalmazunk:

a) gravimetriás módszer, amely során a karbonátokat erős savval reagáltatjuk (lebontatjuk), a felszabaduló szén-dioxidot speciális felfogóedényekbe tároljuk, tömegi értékelést alkalmazunk;

b) gázometriás módszer, amely során a karbonátok erős savval történő lebontásán és a felszabaduló szén-dioxid térfogatának mérésén alapul;

c) titrimetriás módszerek, amelyek a karbonátok ismert töménységű savval történő lebontásán és a fennmaradó savfelesleg titrálásán alapulnak.

A legpontosabbak a gravimetriás módszerek, amelyek azonban speciális felszerelést és hosszú elemzési időt igényelnek. A gázometrius módszereket gyakran használják, mert gyorsak és meglehetősen pontos eredményeket adnak.

Gázometriai meghatározás Scheibler-kalciméterrel*A meghatározás elve*

A CaCO₃-tartalom igen fontos jellemzője a talajnak. A szénsavas meszet 10%-os HCl-val elbontjuk, és a fejlődő CO₂-gáz térfogatát mérjük.



A képződött CO₂-gáz térfogatából normál hőmérsékletre és nyomásra redukálva számítjuk ki a talaj karbonáttartalmát, amelyet CaCO₃ %-ban adunk meg.

Anyagok

– 10%-os HCl-oldat

Eszközök

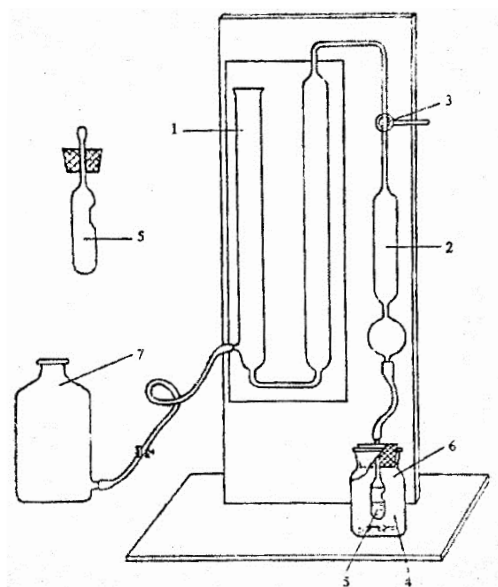
– Scheibler-féle kalciméter,

– gyorsmérleg (századgramm pontosságú).

Végrehajtás

Mivel az elemzendő talaj mennyisége ennek karbonáttartalmától függ, előzetesen egy minőségi vizsgálat elvégzésére van szükség. Egy kis talajmintát óraüvegre helyezünk, öntünk rá néhány csepp 10%-os HCl-oldatot. A karbonáttartalmat a pezsgés intenzitása alapján értékeljük.

Mérlegesen lemérünk 10 g talajt, amelyet a Scheibler-féle kalciméterben (48. ábra) reakcióedénybe helyezünk. Megnedvesítjük a talajmintát egy kis desztillált vízzel, egyúttal letisztítjuk az esetlegesen az edény oldalára ragadt talajszemcséket.



- | | |
|---|------------------------|
| 1. U alakú közlekedőcső
(egyik szára beosztott), | 4. reakciótér, |
| 2. 200 cm ³ űrtartalmú zárt üvegcső, | 5. savtartó csővecske, |
| 3. háromfuratú csap, | 6. reakcióedény, |
| | 7. szintezőpalack |

48. ábra. Scheibler-féle kalciméter (Lendvai 2008a)

A kémcsőbe 10 ml 10%-os sósavoldatot töltünk, majd csipesz segítségével a kémcsövet reakcióedénybe helyezük, a falához támasztva és ügyelve arra, hogy a sav ne ömöljön a talajmintára. A reakcióedényt légmentesen gumidugóval lezárjuk.

Ezután a készülék 3 furatú csapját olyan helyzetbe állítjuk, hogy a készülék légtere a külső légtérrel legyen összeköttetésben, majd a folyadéknívót a magasra helyezett szintezőpalack csapjának nyitásával a skála 0-pontjára állítjuk. A csapot úgy forgatjuk, hogy a reakciótér a készülék légtérével legyen összeköttetésben. A reakcióedény eldöntésével a 10%-os HCl-ot a bemért talajra folytatjuk. A CO₂-fejlődés megindulásakor az összekötőcsap segítségével a zárófolyadék szintjét úgy

csökkentjük, hogy annak egy részét a mélyebbre helyezett nívóedénybe folytatjuk. A reakciót akkor tekintjük befejezettnek, ha a rázatás után 2 perc elteltével 1 ml térfogatnak megfelelő CO₂-fejlődést nem észlelünk. A reakció befejezésével a folyadék-nívót a 2 csőben kiegyenlítjük, és leolvassuk a fejlődött CO₂-gáz térfogatát, feljegyezzük a hőmérséklet és légnyomás adatait (Jakab–Krézsek 2008).

Egy meghatározás átlagosan 30 percet vesz igénybe.

Számítás

A talajok összes karbonáttartalmát CaCO₃ %-ban kifejezve, a következő összefüggés alapján számítjuk ki:

$$\text{CaCO}_3 \% = \frac{ma}{g} 100$$

m – a fejlődött CO₂ mennyisége, milliliterben,

a – a CO₂ 1 milliliterének megfelelő CaCO₃ mennyisége az észlelt hőmérsékleten és nyomáson (grammban),

g – a bemért talaj tömege (grammban).

Értékelés

A számított CaCO₃-százalékérték alapján a talajok szénsavas mésztartalmának határértékeit a következők szerint csoportosítjuk (14. táblázat):

14. táblázat. *A szénsavas mésztartalom határértékei*

CaCO ₃ %	Kategória
0	Mészhiányos
0,1–4,9	Gyengén meszes
5, –19,9	Közepesen meszes
20–	Erősen (túlzottan meszes)

II.4.2.3. A talajok humusztartalom-meghatározása

A humusz a talaj legfontosabb szerves alkotórésze, túlnyomórészt összetett molekulaszervezettel rendelkező sajátos szerves vegyületekből (huminsavakból) épül fel.

A huminsavak kémiai összetétele és szerkezeti képlete még nem került pontos meghatározásra; azt azonban tudjuk, hogy a humusz összetételében átlagosan 58% szén és 5% nitrogén, ezeken kívül hidrogén, oxigén, foszfor és kén is található.

A talaj összhumusztartalmának meghatározása történhet közvetlen vagy közvetett módszerek által.

Az egyik legegyszerűbb *közvetlen* módszer a mennyiségi meghatározáshoz a levegő jelenlétében lassú kalcinálás során történő humuszvesztés meghatározás

zása. Az ezzel a módszerrel kapott eredmények csak bizonyos (homokos, magas szervesanyag-tartalmú) talajok esetében kielégítőek. Mivel a kalcinálás során a hidratált szilikátokból és alumínium-szilikátokból kémiaiilag megkötött víz is elvész, a módszer pontatlan eredményeket ad agyagban gazdag talajokon.

Egy másik közvetlen módszer a humusz oxidációja hidrogén-peroxid jelenlétében. A kutatások kimutatták, hogy az oxidáció ebben az esetben nem teljes, és a kapott eredmények hozzávetőlegesek.

A *közvetett* módszerek a humuszösszetétel bizonyos elemeinek (C vagy N) meghatározásán alapulnak. A humusz szén- és nitrogéntartalmának ismeretében bizonyos átalakulási együtthatókat számítanak ki, amelyekkel a vizsgált minta szén- vagy szervesnitrogén-tartalmát megszorozva megkapjuk a humuszmenyiség értékét. Így például a humusz mennyiségét úgy kapjuk meg, hogy a szerveszén-tartalmát megszorozzuk 1,724-gyel, a szén-dioxidét 0,471-gyel, vagy a szervesnitrogén-tartalmat 20-szal vagy 16-tal (az átlagos megengedett nitrogéntartalomtól függően 5–6,240/0).

A szerves szén meghatározásának módszerei a talajban lévő szerves anyagok oxidációján vagy elégetésén alapulnak, ami száraz vagy nedves körülmények között történhet. A humusz száraz égetése úgy történik, hogy a talajmintát tiszta oxigénáramban vagy levegőáramban kalcinálják. Így a szerves anyagokban lévő szén teljesen oxidálódik és szén-dioxiddá alakul.

A „nedves égés” a talajban lévő szerves anyagok oxidációja által történik, folyékony oxidáló keverék jelenlétében, krómsav segítségével.

„Nedves égés” esetén az oxidáló keverék nem kellően magas hőmérséklete miatt a humusz nem oxidálódik teljesen. A szerves anyagok oxidációját nagyobb arányban úgy érzük el, ha az oxidáló keveréket forráspontig hevítjük. A forráspont az oxidáló keverékben lévő kénsav koncentrációjának függvénye. A szerves anyagok legnagyobb mértékű oxidációjához az szükséges, hogy a kénsav és a víz aránya legalább 3/2 legyen. Ennél a koncentrációnál 5 perces forralással az oxidáció eléri a 98%-ot. Kis mennyiségű katalizátor (ezüst-szulfát) hozzáadásával azonos koncentrációban érhetjük el a száraz égetési módszerrel kapott eredményt. Különböző oxidáló keverékek használhatók, amelyek lehetővé teszik a magas forráspont fenntartását, és növelik az oxidációs folyamat hatékonyságát és reakciósebességét.

A humusztartalom szerveszén-méréssel történő meghatározásának módszerei a következő képen csoportosíthatók:

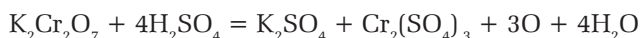
- a humuszban lévő szén oxidációja során felszabaduló szén-dioxid meghatározásán alapuló módszer (gravimetriás módszerek),
- a humuszban lévő szén oxidációjához szükséges oxidálószer mennyiségi meghatározásán alapuló (oximetriás) módszer.

A gravimetriás módszer pontosabb eredmény elérését teszi lehetővé, de speciális felszerelést és hosszú elemzési időt igényel. Jelenleg a humuszt oximetriás módszerekkel határozzák meg, ezek közül is a Tyurin-módszer a legszélesebb körben alkalmazott.

A meghatározás elve

A humusztartalom meghatározásakor tulajdonképpen a talaj összes szerves anyagtartalmát határozzuk meg (a humuszanyagok mellett a nem humuszjellegű szerves vegyületek mennyisége nem túlságosan jelentős, az összes szervesanyag-tartalom 10–15%-a). A szervesanyag-tartalom megállapítása úgy történik, hogy a szerves vegyületekben levő C-tartalmat mérjük annak alapján, hogy mennyi oxigént fogyaszt el.

Az oxidációnak a következő egyenlet az alapja:



A C-tartalomból 1,724-gyel való szorzás útján kapjuk a humusztartalmat. Ez a szám úgy adódik, hogy a humuszvegyületek (100%) átlagosan kb. 58% C-t tartalmaznak ($100:58 = 1,724$) (Jakab–Krézsek 2008).

Anyagok

- kénsavas difenilaminindikátor,
- kálium-bikromát-oldat (0,4 n),
- Mohr-só-oldat (0,2 n),
- foszforsav (85%-os).

Eszközök

- 2 db 25 ml-es automata büretta,
- villanymelegítő,
- 300 ml-es Erlenmeyer-lombik,
- analitikai mérleg.

Végrehajtás

A minta előkészítése az elemzéshez:

A laboratóriumi elemzésre szánt talajmintából, mielőtt ennek zúzását elvégeznénk, 1–20 g talajt elkülönítünk, ezt fogjuk használni a humusztartalom meghatározására.

A gyökerek, levelek, rovarok stb. összes látható maradványát eltávolítják; majd a talajmintát mozsárba tesszük, egy 1 mm-es lyukátmérőjű szitán átszitáljuk, majd nagyítóval ismét alaposan megvizsgáljuk, és csipesszel eltávolítjuk a még látható szerves maradványokat. Az így elkészített talajmintát üvegapullában vagy dugóval ellátott üvegben tároljuk.

A humuszmeghatározásra szánt talajminták előkészítéséhez a következő eljárás is alkalmazható: a talaj pergamenpapírra történő vékony rétegű elterítése után egy elektrosztatikus árammal feltöltött (gyapjúronggyal átdörzsölt) üvegrudat kb. 10 cm magasságban elvonunk, így a talajmintában lévő finom szerves törmelék a rúd felületéhez vonzódik és hozzátapad. A pálcát tisztítása után a talajt összekeverjük és vékony rétegben elsimítjuk, majd a műveletet többször megismételjük, amíg a minta megtisztul (a talaj fölött átvezetett pálcát tiszta marad).

Ezután a talajmintát mozsárban összetörjük és átszitáljuk.

Az elemzéshez használandó talajminta mennyiségét a talaj színe alapján választjuk meg (1–3% humusztartalom esetén 0,5 g-ot – a talaj világosbarna; 3–5% humusztartalom esetén 0,3 g-ot – a talaj sötétbarna, 5% feletti humusztartalom esetén 0,1 g-ot – a talaj fekete).

Analitikai mérlegben kimérünk 0,1–0,5 g talajt (a humusztartalomtól függően) az analitikai mérlegre, és egy 50–100 cm³-es hőálló lombikba helyezjük. Büret-tával 10 cm³ 0,4 n-es krómsavat adunk hozzá, oly módon, hogy a lombik falán maradó talajszemcséket magával ragadja. A humusz minél nagyobb mértékű oxidációja érdekében hozzáadunk 0,1 g ezüst-szulfátot.

A lombikot egy kis tölcsérral lefedjük. Az oxidációs reakciót hevítéssel segítjük. A lombikot homokfürdőre helyezjük, és hagyjuk szobahőmérsékletűre hűlni. A lehűlés után a tartalmat egy 500–750 cm³-es lombikba töltjük, ahol megtörténik a titrálás. Az égetőlombikot és a tölcsért alaposan átmoszuk desztillált vízzel (3-4 alkalommal), majd a mosásból származó vizet a titráló lombikba öntjük. Ezután desztillált vízzel körülbelül 200-250 cm³ úrtartalomra hígítjuk. Adagolunk hozzá 0,2 cm³ 85%-os ortofoszforsav-oldatot (a foszforsav szerepe az, hogy a titrálás során keletkező zöld színű vas-szulfátot színtelen vas-foszfáttá alakítsa, és lehetővé tegye a zöld szín megjelenésének érzékelését, mely a titrálás végét jelenti), és 8-10 csepp difenilindikátort, majd a krómsav feleslegét 0,2 n Mohr-só-oldattal titráljuk. A titrálás elején a lombikban lévő folyadék vörösesbarna színű, mely később sötétkékre, majd lilára vált. Ettől a pillanattól kezdve a titrálást cseppenként kell elvégezni, és a lombik tartalmát folyamatosan kevergetni. A titrálás végét a kéklila szín zöld színre váltása jelzi.

A 10 cm³ krómsavnak megfelelő Mohr-só mennyiségének meghatározásához vakmintát is végzünk (2-3 ismétlésben). Ehhez tegyünk 10 cm³ 0,4 n krómsavat egy 500 cm³-es lombikba, hígítsuk fel 200 cm³ desztillált vízzel, adjunk hozzá 0,2 cm³ foszforsavat és 8-10 csepp difenilindikátort, majd titráljuk 0,2 n Mohr-sóval, úgy, mint azt az elemezni kívánt minta esetén tettük.

Számítás

Az eredményt a következő képlet segítségével számítjuk ki:

$$C\% = \frac{Af_1 - 0,5Bf_2}{b} \cdot 0,12$$

A – a talajhoz hozzáadott 0,4 n K₂Cr₂O₇ (ml),

B – a fogyott 0,2 n Mohr-só (ml),

f₁ – a bikromátoldat faktora,

f₂ – a Mohr-só-oldat faktora,

b – a bemért talaj tömege (g).

A humusz százalékát a következőképpen kapjuk meg:

$$H\% = 1,724 \times C\%$$

Értékelés

Talajok minősítése humusztartalom alapján

- Hu% < 2% – kis humusztartalom,
- Hu% 2–4% – közepes humusztartalom,
- Hu% >4% – humuszban gazdag talaj,
- Hu% általában < 6% – az ásványi talajok esetében,
- Hu >20% – szerves talajok esetében.

II.5. Az ökológiai lábnyom

Az ökológiai lábnyom a természeti erőforrások ember általi kihasználásának mértékét fejezi ki, az emberi tevékenységek természetre gyakorolt hatását mutatja be, arra a tényre alapozva, hogy mindenkinek szüksége van egy bizonyos a Földön, hogy elő tudja teremteni a megélhetéséhez és vágyai kielégítéséhez szükséges javakat és szolgáltatásokat (Chambers–Simmons–Wackernagel 2013). Itt fontos kiemelni, hogy a szükségletek és a vágyak kielégítése nem ugyanazt jelenti. Mahatma Gandhi ezt úgy fogalmazta meg, hogy a világ erőforrásai elegendőek ahhoz, hogy kielégítsék mindenki szükségleteit, de nem elegendőek ahhoz, hogy kielégítsék mindenki vágyait, mohóságát.

Az ökológiai lábnyom fogalma összefüggésbe hozható az eltartóképesség fogalmával. Ez a fogalom abból a megállapításból indul ki, hogy a Föld gyakorlatilag egy zárt rendszernek tekinthető, így azon erőforrásai, melyektől függenek az emberi tevékenységek, végesek (Arrow et al. 1996). Véges az a terület, amely rendelkezésre áll az emberiség termékek és szolgáltatások iránti igényének a kielégítésére. A rendelkezésre álló területek (szárazföldi és tengeri) nagysága és az ökológiai lábnyom mérete közti különbség megmutatja, hogy még mekkora terület áll rendelkezésünkre igényeink növelésére, illetve mennyivel léptük túl a lehetőségeket, ezáltal más országokat vagy a jövő nemzedékeket terhelve.

Az ökológiai lábnyom fogalmát William Rees kanadai ökológus alkotta meg (Rees 2017), majd Mathis Wackernagellel kidolgoztak egy módszert ennek a szám-szerűsítésére (Wackernagel–Rees 1998). Később többen is foglalkoztak az eredeti módszertan továbbfejlesztésével, így ma már számos megoldás áll rendelkezésre, melyek alapján ez az érték kiszámítható egy személyre, családra, városra, országra vagy akár a Föld teljes népességére, de ki lehet számítani egy vállalkozás vagy egy nagyobb rendezvény ökológiai lábnyomát is. Az így kapott érték magába foglalja, hogy mennyi erőforrásra, termőföldre, vízre, levegőre van szükség, beleértve az ipari javak, élelmiszerek előállítását, illetve a megtermelt hulladék kezelését vagy megsemmisítését is. Meghatározásához a Föld bioproductív területeinek (szárazföld és tenger) a nagyságát használja fel mutatóként (Ewing et al. 2010). Ezért a kapott eredmény nem a ténylegesen igénybe vett földterület, hanem az egész Földre számított átlagos hozamok alapján kapott globális hektárban (gha) megadott érték. A mutató ennek következtében fogyasztáscentrikusan közelíti

meg a természet igénybevételét, és a termelési hatékonyságban megmutatkozó különbségeket rosszul tükrözi, sőt korrigálja a világátlag szintjére, képes viszont a fogyasztásban megmutatkozó különbségek kimutatására, és segítségével összehasonlíthatóvá válnak a különböző országok fogyasztási adatai alapján számított ökológiai lábnyomai.

Az ökológiai lábnyom hatféle földhasználati típust különböztet meg:

1. Szénlábnyom (karbonlábnyom): az emberi tevékenységek során (fosszilis tüzelőanyagok égetése, földhasználat, kémiai folyamatok) keletkező CO₂ elnyeléséhez szükséges erdőterület nagysága.

2. Legelőlábnyom: háziállatok eltartásához (hús, tej, tojás, gyapjú, bőrök stb. előállítás) szükséges terület nagysága.

3. Erdőlábnyom: felhasznált faanyag (papíralapanyag, bútor, tűzifa) előállításához szükséges terület nagysága.

4. Halászati lábnyom: emberi fogyasztásra vagy ipari termékek előállítására használt tengeri és édesvízi élőlények (rákok, puhatestűek, halak, algák stb.) megélhetéséhez szükséges terület nagysága.

5. Szántólábnyom: emberi fogyasztásra, állati takarmányozásra és bioüzemanyagok előállítására termelt növények termesztésének területigénye.

6. Beépített területek: az emberi infrastruktúrához (pl. közlekedés, lakások, ipari létesítmények, vízierőművek tározói) szükséges földterület nagysága.

Ezen a haton felül még külön szokták említeni a vízlábnyomot. Ez mutatja meg azt a felhasznált vízmennyiséget, amennyit közvetlenül elfogyasztunk, és amennyit közvetve az előállított termékek, igénybe vett szolgáltatások előteremtéséhez használtunk el. Míg egy fejlett országban élő városi lakos naponta átlag 125 liter vizet fogyaszt közvetlenül (háztartási fogyasztás), vízlábnyoma a közvetett fogyasztás miatt napi 5000 liter is lehet (Aldaya et al. 2012).

Az ökológiai lábnyom mértéke iránymutató a túlfogyasztást illetően. Ezt lényegében három tényező befolyásolja: a fogyasztás mértéke, az emberiség létszáma, valamint a biokapacitás, vagyis az erőforrásokat szolgáltató természet állapota. Ennek túllépése helyileg előfordult a történelemben, de globálisan csak az 1970-es évek közepén kezdődött. Ez azonban komoly gondot jelent, mert így a termelőkeny ökoszisztémák kimerülnek.

Ma már minden évben kiszámítják a globális túlfogyasztás napját, de ez az érték kiszámítható egyes kontinensekre vagy országokra is. 1970-ben a globális túlfogyasztás napja december 23-ra esett, 2019-ben július 29-re. Európa még a globális átlagnál is rosszabbul teljesített, az európai túlfogyasztás napja 2019-ben május 10-re esett. Ugyanabban az évben Románia július 12-én használta el az ország éves erőforrásait. Egy évvel később, 2020-ban, a koronavírus-járvány miatti leállások hatására néhány héttel későbbre, augusztus 22-ére csúszott a globális túlfogyasztás napja, de 2021-től már újból visszaállt a csökkenő tendencia, vagyis évről évre egyre hamarabb meríti ki az (egyre növekvő számú és igényű) emberiség a bolygó erőforrásait. Ezzel együtt nő az emberiség ökológiai lábnyoma is. A Föld

teljes népességének átlagos ökológiai lábnyoma 2019-ben 2,8 globális hektár volt, szemben a rendelkezésre álló 1,7 globális hektárral. Ez azt jelenti, hogy jelentősen túlléptük a Föld kapacitását, eltartó képességét. Ilyen mértékű fogyasztás mellett 1,8 Földre lenne szükség, hogy ez a folyamat fenntartható legyen. A világ népességének 80%-a olyan országokban él, ahol több erőforrást használnak fel, mint amennyit az ökoszisztémák meg tudnak újítani. Vannak országok, melyeknek az ökológiai lábnyoma a 10 gha-t is meghaladja (pl. Luxemburg, Katar), míg a lista másik végén levő országok esetében az egy gha-t sem éri el (pl. Angola, Nepál, Afganisztán). Az Európai Unió országai közül Románia ökológiai lábnyoma a legkisebb, 2022-ben 2,71 gha, ami kevéssel a világtátlag alatt van, de még ennél az értéknél sem beszélhetünk fenntarthatóságról (Global Footprint Network 2022).

Az egyéni ökológiai lábnyom sok dolog együtteséből tevődik össze. Ezek közül a legfontosabb a háztartás energiafogyasztása, a villany, földgáz, illetve egyéb fűtőanyag használata, közlekedési és nyaralási szokások, illetve az étkezési szokások. Idetartozik az, hogy valaki mennyi hulladékot termel, mennyi csomagolást használ, milyen tárgyakkal veszi körül magát. De figyelembe kell venni az internetezési szokásokat, banki szolgáltatásokat, kultúrafogyasztási szokásokat is, mivel az életünk összes területe valamilyen módon része az ökológiai lábnyomnak.

Az egyéni ökológiai lábnyom mérete jelentősen csökkenthető a fogyasztói szokások megváltoztatásával:

- energiahasználat csökkentése, megújuló energiák használata (szigetelés, hatékonyabb fűtés, napelemek, geotermikus energia),
- helyi termékek előnyben való részesítése vásárláskor,
- csomagolás csökkentése, lebomló vagy visszaváltható csomagolás választása vagy teljes elkerülése (zero waste),
- tömegközlekedés és kerékpározás kihasználása,
- elromlott eszközök javítása,
- kevesebb ruha vásárlása, lehet használtat is vásárolni.

Feladat

Egyéni ökológiai lábnyomának a kiszámítása a következő online számológép valamelyikének a segítségével:

<http://www.glia.hu/okolabnyom/>

<https://zoldboconad.hu/okologiai-labnyom-kalkulator/>

<https://okokalk.mnb.hu/>

<http://khkalkulator.wwf.hu/hu/index>

- Hasonlítsuk össze a kapott értékeket, magyarázzuk a különbségeket és a hasonlóságokat.
- Számítsuk ki az évfolyam átlagos ökológiai lábnyomát.
- Fogalmazzunk meg javaslatokat az egyéni ökológiai lábnyom csökkentésére.

III. ALAPVETŐ MINTAVÉTELEZÉSI ÉS ELEMZÉSI MÓDSZEREK AZ AGRÁR-ÖKOSZISZTÉMÁK VIZSGÁLATÁBAN

III.1. Agrár-ökoszisztémákban előforduló ízeltlábú csoportok főbb gyűjtési módszerei

Az agrár-ökoszisztémákban történő rovargyűjtésnek alapvetően kettős célja lehet – elsősorban természetesen feltérképezni a potenciális kártevőket. De szintén fontos, még ha nem is feltétlen mindig szem előtt levő cél, az itt fellelhető életközösség tanulmányozása, az agrárterületek biodiverzitásának tanulmányozása. A jelenkor modern növényvédelmében egyre inkább előtérbe kerül az agro-ökoszisztéma biodiverzitásának a megismerése, hiszen ha hatékonyan és fenntarthatóan szeretnénk beavatkozni, ismernünk kell a megvédeni kívánt rendszer sajátosságait (Balog–Bálint–Benedek 2008).

A rovarközösség vizsgálata nem egyszerű. A leírt rovarfajok száma meghaladja az egymilliót, és ezek a fajok mind előfordulás, mind életmód szempontjából igen különbözőek tudnak lenni. Az egyes rovarcsoportok gyűjtése szempontjából nagyon fontos a célcsoport alapos ismerete. Számos olyan módszer ismert, amelyet különböző rovarok gyűjtésére fejlesztettek ki. A módszerek egy része valamilyen inger segítségével vonzani fogja a rovarokat: a különböző típusú sárga színű csapdák (például ragadós sárga színű lapok vagy ölü folyadékkal töltött sárga színű tálak), amelyek több rovarcsoportot (levéltetvek, tripszek egy része, cseresznyelégy) vonzanak. A feromoncsapdák (szexcsapdák) adott rovarfajok kimutatására szolgálnak, kihasználva ezen fajok intraspecifikus kémiai kommunikációját. Ez a módszer elsősorban a rajzás megfigyelésére szolgál. Igen elterjedt az éjszaka repülő rovarfajok (elsősorban éjjelilepkefajok) vonzására a fénycsapdázás (Balog–Bálint–Benedek 2008).

A rovargyűjtési módszerek másik része nem a rovarok vonzásán alapul, így ezek helyes használat esetén alkalmasak lesznek a rovarközösségek összetételének a vizsgálatára is. Speciális, a rovarok védekező reflexén alapuló, bizonyos fán élő fajok gyűjtési módszere a kopogtatóernyő. Avarszint életközösségének a mintázására szolgál az avarrosta. A talajszinten mozgó rovarfajokat talajcsapdázással, a gyepszint fajait fűhálózással gyűjtjük. A gyakorlat során ez utóbbi két módszer alkalmazását fogjuk elsajátítani. A rovarok fajszintű meghatározása speciális felkészültséget igényel, ezért a gyakorlaton csak a rendekre való csoportosításra fogunk vállalkozni.

Talajcsapdák (Barber-féle csapdák) alkalmazása talajszinten mozgó rovarfajok gyűjtésére

Ezzel a módszerrel a talajon mozgó ízeltlábúak közösségének az összetételét vizsgálhatjuk. Ezzel a módszerrel hatékonyan gyűjthetünk többek közt hangyafajokat, bizonyos bogár-, pók-, poloskafajokat. A csapda egy talajba ásott tárolóedényt jelent, amelyet ölfolyadékkal töltünk meg. Ez a tárolóedény a gyakorlatban kétdecis, egyszerűhasználatos műanyag pohár, joghurtospohár szokott lenni. Ölfolyadékként a leggyakrabban glikolt vagy sóoldatot használunk. Eső ellen tetőket lehet alkalmazni annak elkerülésére, hogy a csapdák megteljenek vízzel. A csapdákat akár tavasztól őszig működtethetjük, tartalmukat hetente ürítve. Nagyon figyeljünk arra, hogy a csapdák összeszedésekor az ölfolyadékot ne öntsük ki a természetben, hanem vigyük magunkkal. A csapdák ürítésekor a tartalmukat szűrjük (például nejlonharisnya segítségével).

Anyagok és eszközök

- kisásó,
- műanyag pohár (mintázott élőhelyenként legalább 10 darab),
- ölfolyadék (tömény sóoldat),
- csapdatető,
- nejlonharisnya,
- tölcsér,
- alkohol (70%),
- a minták tárolására szolgáló edény,
- a minták jelölésére szolgáló előre megírt cédulák,
- csipesz,
- határozókönyv,
- mikroszkóp,
- jegyzetfüzet, grafitceruza, fényképezőgép.

Végrehajtás

A műanyag poharakat a kerti ásó segítségével beássuk a talajba, vigyázva arra, hogy szájuk a talajjal egy szintben legyen. Ezek helyét random módszerrel előre meg kell határozni úgy, hogy elkerüljük a gyűjtő szubjektivitását! A sóoldatot beöntjük a pohárba. Amennyiben rendelkezünk tetővel, azt a csapda fölé helyezük. A csapdák ürítése hét nap után történik. A csapdákat egyenként szűrjük a tölcsér és a nejlonharisnya segítségével, egyenként jelöljük és tároljuk válogatásig 70%-os etilalkoholban.

Gyepszinten mozgó rovarok vizsgálata fűhálózással

A fűháló egy nyeles fémkeretre erősített erősebb vászonháló (49. ábra). Segítségével a növényzet felsőbb részein élő rovarfajokat tudjuk begyűjteni (pl. sáskák, szöcskék, bizonyos pók-, poloska- és bogárfajok, kabócák stb.). A gyűjtésben segítségünkre lehet a rovarszíppantó (50. ábra). Ez egy két végén átfúrt gumi vagy parafadugóval ellátott átlátszó üveg vagy műanyag henger. A dugók lyukai közül

az egyikbe egy hosszú gumicső kerül, a másik végébe egy kb. fél centi átmérőjű merev (fém vagy műanyag) cső. A gumicső a gyűjtő szájába kerül, a merev cső a felszippantani kívánt rovar elé. Egy határozott szippantással a megfelelő nagyságú rovar az üveghengerbe kerül, majd innen az ölfolyadékba.



Forrás: <https://madardaloskert.hu/termek/fhalo-oszecsukhato-kerettel-dupla/>

49. ábra. Fűháló



Forrás: <https://madardaloskert.hu/termek/fhalo-oszecsukhato-kerettel-dupla/>

50. ábra. Rovarszippantó

Anyagok és eszközök

- fűháló,
- rovarszippantó,
- öllőüveg,
- tölcsér,
- nejlonharisnya,
- alkohol (70%),
- a minták tárolására szolgáló edény,
- a minták jelölésére szolgáló, előre megírt cédulák,
- csipesz,
- határozókönyv,
- mikroszkóp,
- jegyzetfüzet, grafitceruza, fényképezőgép.

Végrehajtás

A fűhálóval egyenletes lépésekkel haladunk előre, miközben a kezünkben levő fűhálóval nyolcasokat írunk le a fűben. A mintavétel általában előre meghatározott nagyságú területen, adott csapásszámmal történik. A különböző területek összehasonlíthatósága miatt hasznos, ha a mintavételezést ugyanaz a személy végzi. A művelet befejezése során a háló tartalmát egy szélesebb szájú öllőüvegbe töltjük, majd onnan tölcsér és nejlonharisnya segítségével szűrjük, és kisebb csomagocskákban, 70%-os etil-alkoholban tároljuk területenként a gyűjtött anyagot válogatásig. A gyűjtött anyagot ne felejtjük el címkézni az azonosíthatóság miatt! Amennyiben csak bizonyos csoport egyedeire vagyunk kíváncsiak, ezeket óvatosan, egyenként kiengedve a hálóból lehet megfogni, majd eltenni. Ilyenkor lehet hasznos a kisebb rovarok elfogására a szippantó. Ha a vizsgálati anyagot így szeretnénk begyűjteni, legyünk nagyon körültekintőek, mert a rovarok hamar elmenekülnek a kinyitott hálóból.

A gyűjtött minta szétválogatása és meghatározása mindkét módszer (talajcsapda és fűháló) esetében laboratóriumban mikroszkóp segítségével történik. A rovarrendek elkülönítése határozókönyvek segítségével történik. Kiválóan alkalmas erre a célra dr. Móczár László *Állathatározója* (Móczár 1969).

III.2. Növénytársulások tanulmányozásának alapjai

A különböző élőhelyeken fellelhető növények együttese nem egy véletlenszerűen kialakult sokaság, hanem törvényszerűségeken alapuló, jól meghatározott jellemzőkkel és igényekkel rendelkező növénytársulásnak (fitocönózisnak) nevezett egység (Borhidi 2003; Cristea–Gafta–Pedrotti 2004; Szép–Margóczi–Tóth 2011). A társulások különböző területeken elhelyezkedő foltjait nevezzük állománynak (Szép–Margóczi–Tóth 2011; Szerényi 2005). A környezet által nyújtott lehetőségek

nagymértékben meghatározzák, hogy adott területen milyen növényfajok fognak adott élőhelyeken megjelenni, tehát a hasonló típusú élőhelyekre hasonló társulások állományai lesznek jellemzőek (Borhidi 2003; Cristea–Gafta–Pedrotti 2004; Szép–Margóczi–Tóth 2011).

A növénytársulások a különböző élőlénytaxonokhoz hasonlóan ún. cönótaxonómiai rendszerbe vannak foglalva (Borhidi 2003; Cristea–Gafta–Pedrotti 2004). A rendszer alapegysége a növénytársulás (asszociáció), amelyet a tömeges és jellemző fajokról neveznek el. Az asszociáció a nevét a jellemző faj latin génusznevének a végére helyezett *-etum* végződés segítségével, illetve a fajnév birtokos esetben tételével képzik (Cristea–Gafta–Pedrotti 2004; Gallé 2013). Ha a társulásban két jellemző fajunk is van, akkor az egyik génusznevének a végére az *-o* végződés kerül (pl. gyertyános kocsányos tölgyes: *Carpino – Quercetum roboris* (Gallé 2013)).

Az asszociáció után következő kategóriák az asszociációcsoport (alliance), amelynél *-ion* és a rend vagy asszociációsorozat (order), amelynél az *-etalia* végződést használjuk (Cristea–Gafta–Pedrotti 2004; Gallé 2013). A legmagasabb kategória a szerkezetileg egymástól nagymértékben különböző asszociációosztály (*class*) (Borhidi 2003; Cristea–Gafta–Pedrotti 2004), ahol az *-etea* végződést használjuk (Cristea–Gafta–Pedrotti 2004; Gallé 2013).

Tekintve, hogy a növényállományok sokszor nagy területen helyezkednek el, számos faj, sokszor igen nagy egyedszámban alkothatja őket, tanulmányozásuk során szó sem lehet minden növényegyed felleltározásáról. A fajösszetétel tanulmányozására fitocönológiai felvételezést alkalmazunk, amelynek a segítségével a növénytakarónak csak egy kisebb, reprezentatív részét fogjuk mintavételezni (Cristea–Gafta–Pedrotti 2004).

A választott módszer nagymértékben függ a vizsgálat céljától, léptékétől és az élőhely típusától, de figyelembe kell venni a rendelkezésre álló eszközöket és humánerőforrást is (Cristea–Gafta–Pedrotti 2004; Sanda–Öllerer–Burescu 2008). A vegetáció tanulmányozásához alkalmazott, egyik leginkább elterjedt, Romániában is általánosan használt módszer a Zürich–Montpellier fitocönológiai iskola Josias Braun Blanquet által kidolgozott fitocönológiai felvételezés módszere (Cristea–Gafta–Pedrotti 2004; Sanda–Öllerer–Burescu 2008).

Az állomány elemzésének alapvetően két célja van: meghatározni egy ismeretlen társulást, vagy pedig analizálni egy már ismert társulást. A felvételezés ideális időpontja a tanulmányozott vegetáció típusától függ. Általánosságban elmondható, hogy szerencsés minél többször ismételni a felvételezést, de egy kora tavaszi és egy nyári periódusban történő felvételezés mindenképpen szükséges (Cristea–Gafta–Pedrotti 2004; Sanda–Öllerer–Burescu 2008).

A vizsgált mintavételi egységek (felvételek vagy relevék) helyének kiválasztásakor fontos, hogy minél jellemzőbb, florisztikai és ökológiai szempontból homogén foltokat válasszunk.

A mintavételi egységek nagyságának a meghatározására több módszer is létezik (pl. minimális terület meghatározása a faj–terület görbe segítségével) (Sárbu–Benedek

2012), de az egyes vegetációtípusokra vonatkozóan több, szakmai tapasztalatokra alapuló ajánlás is létezik erre vonatkozóan (Cristea–Gafta–Pedrotti 2004; Lengyel 2013; Sanda–Öllerer–Burescu 2008; Szép–Margóczy–Tóth 2011; Szerényi 2005). A kolozsvári iskola ajánlása alapján a mintavételi egység nagysága erdőben 400 és 1000 m², cserjés állományokban 50–100 m², gyepekben 25–100 m², ruderalis csoportosulásokban 6–25 m² között kell legyen (Cristea–Gafta–Pedrotti 2004). A mintaterület formája a legtöbb szakirodalmi ajánlás alapján négyzet (kvadrát) alakú, de adott esetekben alkalmazkodni kell az növényállomány alakjához (Lengyel 2013; Sanda–Öllerer–Burescu 2008; Szerényi 2005). A mintaterületek száma az állomány nagyságától függ, de általában állományonként 3-5 mintaterület kerül kijelölésre (Szép–Margóczy–Tóth 2011).

A mintaterületek négy sarkát jó látható módon (általában karókkal) jelöljük, és a területen belüli összes növényfajt igyekszünk a helyszínen meghatározni növényhatározó segítségével.

A terepen gyűjtött adatok táblázatos formában kerülnek rögzítésre. A táblázat tartalmazni fogja az észlelt fajok listáját, mellette azok különböző mutatóit (Cristea–Gafta–Pedrotti 2004; Szerényi 2005). Amennyiben tudjuk, fel kell jegyezni minden egyes felvétel esetén a pontos földrajzi helyszínt (GPS-koordináta is), tengerszint feletti magasságot, kitettséget, lejtőszöveget, az alapkőzet típusát, az esetleges emberi beavatkozások típusát (Lengyel 2013). Az állomány felvételezése során analitikus (becsült) bélyegeket gyűjtünk, amelyeket az adataink feldolgozása során összegző (szintetikus) bélyegként alkalmazunk (Szerényi 2005).

Az elemző bélyegek közé tartozik az abundancia–dominancia, a szociabilitás és a vitalitás.

15. táblázat. *A Braun Blanquet által kidolgozott, Tüxen és Ellenberg által kiegészített abundancia–dominancia skála (Cristea–Gafta–Pedrotti 2004)*

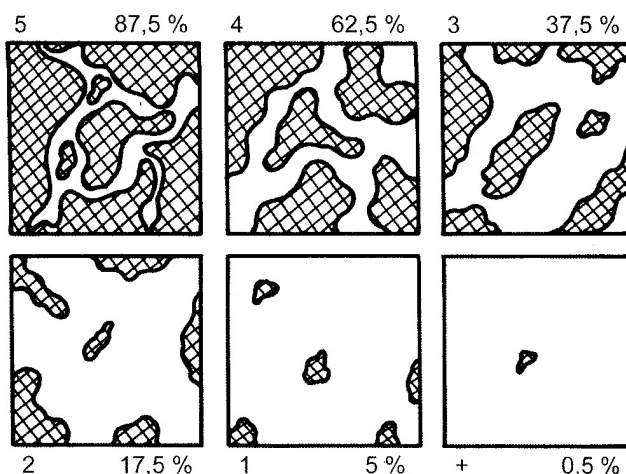
Osztály	Borítási értékek intervalluma (%)	Borítási középérték (%)
5	75–100	87,5
4	50–75	62,5
3	25–50	37,5
2	10–25	17,5
1	1–10	5
+	0,1–1	0,5
R	0,01–0,1	0,05

Az *abundancia–dominancia* a növényfajok borítási értékei, illetve egyszámúai alapján becsült érték, amely az adott fajok tömegességének a becslésére szolgál. Ezt az értéket egy skála segítségével határozzuk meg, amelynek egyes kategóriáiba a növények alapvetően a borítási értékek (= hány százalékát fedi a mintaterületnek az

adott faj) alapján kerülnek be (Cristea–Gafta–Pedrotti 2004; Szerényi 2005). A gyakorlatok során a kolozsvári iskola által is javasolt, Braun–Blanquet által kidolgozott, Tüxen és Ellenberg által módosított skálát alkalmazzuk (15. táblázat).

Az értékek könnyebb meghatározásához a Cristea és munkatársai által készített ábrát használhatjuk (51. ábra) (Cristea–Gafta–Pedrotti 2004).

Fás és cserjés társulások esetén a lombkoronaszint, illetve a cserjeszint borítását külön meg kell határozni. A lombkorona- és cserjeszint borítottságát külön-ben becsülni kell (Cristea–Gafta–Pedrotti 2004; Kevey 2006).



51. ábra. Arányos léptékű skála, amely ábrázolja az r , +, 1, 2, 3, 4, és 5 abundancia–dominancia osztályok központi értékeinek megfelelő területeket (Cristea et al. 2004)

A lombkorona-zártságot egy tizedes skálán adjuk meg, alulról az ég felé nézve állapítjuk meg (Cristea–Gafta–Pedrotti 2004):

- 1,0 – a fák lombkoronája erősen összefonódik, az égbolt egyáltalán nem látható,
- 0,9 – a fák lombkoronája összefonódik, az égboltnak mintegy 10%-a látszik,
- 0,8 – a fák lombkoronája közepesen fonódik össze, az égboltnak mintegy 20%-a látszik,
- 0,7 – a fák lombkoronája összeér vagy akár össze is fonódik, az égboltnak mintegy 30%-a látszik,
- 0,6 – a fák lombkoronája nem fonódik össze, az égboltnak mintegy 40%-a látszik,
- 0,5 – a fák lombkoronája nem ér össze, az égboltnak mintegy 50%-a látszik,
- 0,5 érték alatt a társulás már nem erdőnek, hanem beerdősült gyepeknek tekinthető.

Szociabilitás (társulásképesség): kifejezi, hogy egy faj mennyire képes a fajtársaival csoportosulni (Cristea–Gafta–Pedrotti 2004; Szerényi 2005). Ezt is egy ötös skála segítségével fejezzük ki, ahol az egyes értékeknek a következő jelentése van (Cristea–Gafta–Pedrotti 2004; Lengyel 2013):

- 5 – kompakt, zárt tömegben,
- 4 – nagy, összefüggő foltokat alkotva,
- 3 – foltokat alkotva,
- 2 – kis csoportokban,
- 1 – szálanként.

A *vitalitás* azt fejezi ki, hogy a mintaterületen a fajok mennyire képesek végigélni a teljes életciklusukat – mennyire érzik jól magukat (Cristea–Gafta–Pedrotti 2004; Lengyel 2013; Szerényi 2005). Ezt egy négyes skála segítségével fejezzük ki, amely esetében az egyes értékeknek a következő jelentése van (Cristea–Gafta–Pedrotti 2004; Szerényi 2005):

- 4 – a növény kicsírázik, de fejlődése nem halad tovább,
- 3 – a növény vegetatív részei sem fejlődnek kielégítően,
- 2 – a növény vegetatívan jól fejlődik, de nem virágzik,
- 1 – a növény az egész életciklusát képes végigélni, normál fejlődésű.

Az adatok összegzése során, több hasonló társulás állományában történő felvételezés eredményeinek az összegzése alapján készül a szintetikus tabella (összegző táblázat) (17. táblázat). A társulások azonosítása ennek segítségével történik. A romániai társulásokat a Codlea által szerkesztett, háromkötetes, hazai társulásokat rendszerező és példázó mű segítségével lehet beazonosítani (Codlea 2007, 2012, 2015).

A legfontosabb elemző (szintetikus) bélyeg a fajkompozíció (Lengyel 2013). Az ismeretlen társulások esetén ez alapján fogjuk megállapítani, hogy milyen társulásról van szó. Kiemelten fontosak a társulás azonosítása szempontjából a karakterfajok, amelyek csak egy társulásban találhatók meg, illetve a differenciális fajok, amelyek a hasonló társulások megkülönböztetésekor igazítanak útba (Lengyel 2013).

Az elemző bélyegek közé soroljuk az állandóságot (konstancia) is, amely azt jelenti, hogy az összes minta hány százalékában fordul elő az adott faj (Gallé 2013; Lengyel 2013; Szerényi 2005). A konstancia meghatározása minimum 5 különböző felvételezést igényel, a növénytársulás egyik állományában vagy ugyanazon növénytársulás több állományában.

- I. 81–100% konstans faj,
- II. 61–80% szubkonstans faj,
- III. 41–60% akcesszórius faj,
- IV. 21–40% szubakcesszórius,
- V. 20%– véletlen elemek.

A felvételezések alatt gyűjtött adatokból egy már beazonosított társulásról is fontos információkat tudhatunk meg – megállapítható a társulás fajszáma, a

17. táblázat. Szintetikus tabella. Fehér tippanos-gyepes sédbúzás mocsárrét
Agrostio stoloniferae-Deschampsietum caespitosae, Újvárosi 1947 (Domokos–
 Csizmadia–Elekes 2017)

Relevé száma	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Tsz. feletti magasság (m)	422	390	422	407	422	422	407	422	407	390	422	401	377	
Összborítás (%)	90	90	100	90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Kvadrátum mérete (m²)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	K
Karakterfajok														
<i>Deschampsia cespitosa</i>	+	+	+	+	+	+	+	3	2	4	3	4	3	V.
<i>Alopecurus pratensis</i>	–	–	1	1	1	2	1	–	–	+	+	+	1	I.V.
<i>Cirsium canum</i>	–	–	1	–	1	1	1	1	1	1	1	1	1	I.V.
<i>Myosotis scorpioides</i>	–	–	+	+	+	1	+	+	–	–	+	–	–	III.
Differenciális fajok														
<i>Carex vulpina</i>	+	+	+	+	+	+	+	1	+	+	+	–	1	V.
<i>Fritillaria meleagris</i>	2	2	1	1	–	–	–	–	–	–	–	–	+	III.
Csoport – <i>Deschampsion caespitosae</i>														
<i>Agrostis stolonifera</i>	–	–	–	–	+	+	+	+	+	2	2	1	1	I.V.
...														
Kísérő fajok														
<i>Carex acutiformis</i>	2	–	3	1	2	2	+	–	–	+	+	1	1	I.V.
<i>Filipendula vulgaris</i>	+	+	1	1	1	+	+	+	–	+	+	–	–	I.V.
<i>Polygonum bistorta</i>	–	+	+	+	1	+	1	–	–	+	+	+	+	I.V.
<i>Iris pseudacorus</i>	1	–	1	+	1	1	–	1	–	–	1	–	–	III.
<i>Galium verum</i>	+	1	–	+	–	–	–	+	+	–	–	+	–	III.
<i>Trifolium repens</i>	–	–	+	+	+	–	+	–	–	–	–	+	+	III.
<i>Galium mollugo</i>	–	–	+	–	+	–	–	+	+	+	+	–	+	III.
<i>Juncus atratus</i>	–	–	–	–	–	–	–	2	–	–	1	+	–	II.
<i>Agrostis capillaris</i>	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	+	+	1	II.
<i>Potentilla reptans</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	+	+	–	II.
<i>Rumex crispus</i>	–	–	–	–	–	–	–	+	–	+	+	–	–	II.
<i>Orchis laxiflora</i> ssp. <i>Elegans</i>	–	–	–	–	–	+	+	–	–	+	–	–	–	II.
<i>Orchis morio</i>	–	–	+	+	+	–	+	–	–	–	–	–	–	II.
<i>Ranunculus auricomus</i>	+	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–	+	II.
...														

Egyetlen relevében talált fajok: *Ranunculus ficaria* (1, +), *Viola odorata* (3, +), *Veronica chamaedris* (3, +), *Carex acuta* (4, +), *Veronica teucrium* (7, +), *Vicia sepium* (7, +), *Cerastium arvense* (7, +), *Trifolium fragiferum* (8, +), *Veronica longifolia* (8, +), *Ventenata dubia* (9, +), *Scutellaria hastifolia* (9, +), *Scutellaria galericulata* (9, +), *Crepis biennis* (10, +), *Achillea ptarmica* (11, +), *Lolium perenne* (11, +), *Cichorium intybus* (12, +), *Galium album* (10, +), *Rhinanthus alectorolophus*

(10, +), *Pastinaca sativa* (12, +), *Pimpinella saxifraga* (12, +), *Trisetum flavescens* (11, +), *Mentha pulegium* (12, +), *Phleum pratense* (12, +), *Phragmites australis* (12, +), *Carex hirta* (13, +), *Elymus repens* (13, +), *Centaureum erythraea* (13, +). **A relevék helye:** 1, 3, 5, 6, 8, 11 – Dămieni; 4, 7, 9, 12 – Grăușor; 2, 10, 13 – Valea. **A felvételezés időpontja:** 2017. 04. 01 (1); 2017. 04. 09. (2); 2017. 04. 29. (3, 4); 2017. 05. 07. (5); 2017. 05. 19. (6, 7); 2017. 06. 20. (8–10); 2017. 06. 27. (11); 2017. 07. 08. (12, 13).

III.3. Denzitás és diszpergáltságbecslés növénypopulációkban

A denzitás a populáció tagjainak téregységre vonatkoztatott sűrűsége (Gallé 2013). Kifejezhetjük egyed (borítás, tőszám)/területegységben, térfogategység/gazdaszerkezet/hajtás/növény formában (Gallé 2013; Southwood–Henderson 2000). A különböző élőlénycsoportok denzitásának és a populáció nagyságának megállapításához használt módszerek kiválasztása nagymértékben függ attól, hogy milyen élőlénycsoportról van szó. Bizonyos esetekben a mintavétel lehet teljes körű, amikor az összes egyedet igyekszünk megszámolni (kisméretű populációk nagytestű állatok esetén). De ez a módszer azért a legtöbb esetben (növények és rovarok esetén mindenképpen) szinte kivitelezhetetlen – ezért a teljes körű mintavételnél lényegesen gyakoribb a reprezentatív mintavétel. Ilyenkor különböző becslési módszerekre kell hagyatkoznunk – a populáció egy kisebb része alapján fogjuk becsülni az egész populáció egyedsűrűségét és nagyságát (Gallé 2013).

Növénypopulációk és helytűlő (vagy kevésbé mobilis) állatfajok esetén jól alkalmazhatóak a különböző nagyságú mintavételi egységek alapján történő becslési módszerek. Szárazföldi körülmények közt különböző nagyságú és alakú mintavételi egységekben történik a számolás (Gallé 2013; Sârbu–Benedek 2012). Gyomnövény-populációk vizsgálatában a mintavételi egység alakja általában négyzet alakú (Nkoa Ondoua–Owen–Swanton 2015). A kijelölt mintavételi egység nagysága nagymértékben függ a felmérendő faj méreteitől. Lágyszárú populációk felmérésében rendszerint a méret 1 x 1 méter, cserjés esetén 10 x 10 méter, fás növényzet esetén 100 x 100 méter szokott lenni (Booth–Murphy–Swanton 2010). A felmért mintavételi egységek száma (mintanagyság) arányos kell legyen a felmért terület nagyságával. A mintaszám növelésével nő a becslés pontossága is (Southwood–Henderson 2000). Ha túl kis méretű és túl kis számú kvadrátot használunk, előfordulhat, hogy a populáció denzitását a valóságosnál kisebbre becsüljük.

A szükséges mintavételi egységek száma egy előtanulmány során gyűjtött adatsorból, statisztikai módszerrel kiszámítható az alábbi képlet segítségével (Sârbu–Benedek 2012; Southwood–Henderson 2000):

$$n = \frac{s^2}{E^2 \bar{x}^2},$$

ahol:

s^2 – variancia,

n – a mintavételi egységek száma,

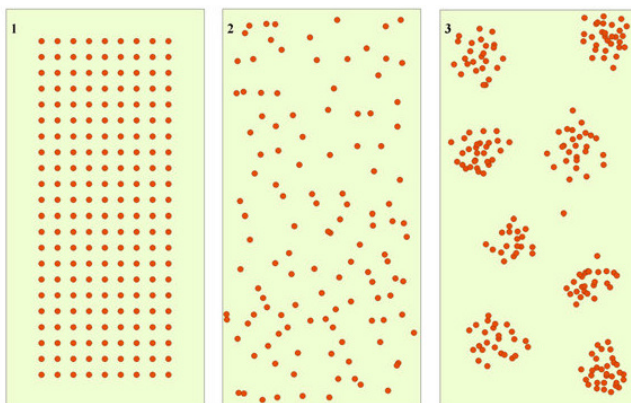
E – standard hiba tizedestörként megadva (pl. ha a standard hiba +/- 5%, akkor $D' = 0,05$),

\bar{x} – átlag.

A kvadrátok helyének kijelölése során kerülnünk kell annak lehetőségét, hogy ezeket befolyásolja a mintavételező szubjektivitása, így mindenképpen valamilyen random módszert válasszunk. Homogén élőhelyeken egyszerű random mintavételt alkalmazunk. Heterogén élőhelyeken rétegzett mintavételre van szükség, ami azt jelenti, hogy az élőhelyet homogén alegységekre bontjuk, és ezeket külön mintázzuk (Booth–Murphy–Swanton 2010; Gallé 2013; Sârbu–Benedek 2012; Vodopich 2009).

Mobilis állatfajok populációinak denzitásbecslésére a fent leírt módszer már nem használható. Ilyenkor egy adott hosszúságú és szélességű transzekt mentén észlelt egyedszám alapján becsülhetünk denzitást és populációméretet (Sârbu–Benedek 2012). A transzekt mentén ugyanakkor növényfajok populációvizsgálatára is alkalmas lehet (Sârbu–Benedek 2012; Vodopich 2009). Szintén állatpopulációk nagyságának és sűrűségének a becslésére szolgál a jelölés-visszafogás-módszer (Gallé 2013; Vodopich 2009).

A populációk egy másik fontos tulajdonsága a diszpergáltság, amely azt írja le, hogy milyen módon népesítik be az egyedek (vagy mondjuk hangyakolonniák, madárfészkek) a teret. Ez a paraméter nagymértékben függ a tér homogenitásától, az egyedek egymás közti viszonyától és a faj terjedési stratégiájától (Gallé 2013). A diszpergáltságnak három típusa van (52. ábra): egyenletes (szegregált), véletlenszerű (random) és csoportosuló (aggregált) (Gallé 2013; Vacante–Bonsignore 2012).



Forrás: Vacante–Bonsignore 2012

52. ábra. Diszpergáltságtípusok: 1. egyenletes (szegregált), 2. véletlenszerű (random) 3. csoportosuló (aggregált)

Gyomfajok populációméretének és denzitásának becslése kvadrátos módszerrel

Anyagok és eszközök

- mérőszalag (legalább 50–100 méteres),
- karók,
- 1 x 1 méteres fém- vagy fakeret a mintavételi egységek (kvadrátok) kijelöléséhez – helyettesíteni lehet spárgából elkészített keretekkel is (1 db/diákcsoport),
- jegyzetfüzet, írószerszám, fényképezőgép.

Végrehajtás

Az első lépés a kvadrátok helyének a kijelölése. Az alább ismertetett módszer szabályosabb alakú területek növénypopulációinál (mondjuk különböző természetű növények kultúráiban előforduló) lehet célravezető, de kis módosításokkal, szabálytalan alakú területek esetén is működőképes. A vizsgált területeken mérőszalag segítségével kimérünk egy akkora téglalap vagy négyzet alakú területet, ami éppen még elfér a területen. Ennek két oldalát méterenként jelöljük karókkal, úgy, hogy a területet egy képzeletbeli koordináta-rendszerként tudjuk felfogni (tehát a képzeletbeli koordináta-rendszer x és y tengelye a négyszög oldalai lesznek). A képzeletbeli koordináta-rendszer x és y tengelyén random módon pontokat jelölünk ki, ezek méterben megadott hosszának intervallumában történő random számok generálásával. Ezek segítségével fogjuk jelölni majd az egyszerűbb kivitelezés kedvéért 1×1 méteres kvadrátjaink valamely előre meghatározott pontját. Ha a területünk mondjuk téglalap alakú, egyik oldala 50 méter és a másik 100, akkor a két generált random számunk közül az első 1 és 50, a második 1 és 100 között kell legyen. Ha a random számaink 23 és 85, az x -nak kijelölt tengely 23. és az y -nak kijelölt tengely 85. méterének metszéspontjánál lesz a kvadrát előre kijelölt pontja (Nkoa Ondoua–Owen–Swanton 2015; Vodopich 2009). A kvadrátok helyének kijelölése után a diákok kettes csoportokba szerveződve kihelyezik a kvadrátokat, és megszámlálják a kvadrátok területén a vizsgálatra kijelölt faj tőszámát. Azokat a növényeket, amelyek pontosan a kvadrát oldalain vannak, a négyből csak két előre meghatározott oldalon számoljuk be!

A denzitást (egy négyzetméterre eső tőszámot) az alábbi ismertetett számításmenet segítségével fogjuk kiszámolni (Sárbu–Benedek 2012):

1. Kiszámoljuk a kvadrátonkénti átlagos egyedszámot (n'):

$$n' = \frac{\sum_{i=1}^r n_i}{r},$$

ahol:

n' = kvadrátonkénti átlagos egyedszám,

n_i = i -dik kvadrát egyedszáma,

r = kvadrátok száma.

2. Kiszámoljuk a kvadrátonkénti átlagos egyedszám varianciáját ($S_{n'}^2$):

$$S_{n'}^2 = \frac{\sum_{i=1}^r (n_i - n')^2}{r - 1}.$$

3. Kiszámoljuk a kvadrátonkénti átlagos egyedszám szórását ($S_{n'}$):

$$S_{n'} = \sqrt{S_{n'}^2}.$$

4. Kiszámoljuk a vizsgálati területre kihelyezhető kvadrátok maximális számát (K):

$$K = \frac{A}{a},$$

ahol:

A = a terület nagysága (négyzetméterben),

a = egy kvadrát területe (négyzetméterben).

5. Kiszámoljuk a becsült populációnagyságot (N'):

$$N' = n'K.$$

6. Kiszámoljuk a becsült populációnagyság varianciáját ($S_{N'}^2$):

$$S_{N'}^2 = \frac{K(K - r)}{r} S_{n'}^2.$$

7. Kiszámoljuk a becsült populációnagyság szórását ($S_{N'}$):

$$S_{N'} = \sqrt{S_{N'}^2}.$$

8. Kiszámoljuk, hogy a becsült populációnagyság milyen értéktartományba eshet 95%-os valószínűséggel (N' 95%-os konfidenciaintervalluma):

N' 95%-os konfidenciaintervallum legkisebb érték = $N' - 1,96S_{N'}$

N' 95%-os konfidenciaintervallum legnagyobb érték = $N' + 1,96S_{N'}$

9. Kiszámoljuk a denzitás becsült értékét (D')

$$D' = \frac{N'}{A}.$$

10. Kiszámoljuk, hogy a becsült denzitás milyen értéktartományba eshet 95%-os valószínűséggel (D' 95%-os konfidenciaintervalluma):

N' 95%-os konfidenciaintervallum legkisebb érték = $\frac{N' - 1,96S_{N'}}{A}$.

N' 95%-os konfidenciaintervallum legnagyobb érték = $\frac{N' + 1,96S_{N'}}{A}$.

Gyomfajok diszpergáltságának megállapítása kvadrátos módszerrel

Az előbb ismertetett adagyűjtésből és a számításmenetet folytatva a diszpergáltságot is ki tudjuk számítani. Ha a kvadrátonként becsült átlagos egyedszám varianciáját elosztjuk a kvadrátonként becsült átlagos egyedszámmal, egy hányadost kapunk, amelynek értéke ha megegyezik 1-gyel, a diszpergáltság véletlenszerű, ha sokkal kisebb, mint 1, akkor egyenletes, ha sokkal nagyobb, mint 1, akkor csoportosuló.

III.4. Diverzitásszámítás

A diverzitás (sokféleség) egy rendszer összetevőinek változatosságára utal, fontos jellemzője minden egyes életközösségnek is. Sok más ökológiai fogalomhoz hasonlóan a biodiverzitás is sok értelmezést kapott, és átfogó elmélet alakult ki a definíciókkal és jelentési területekkel kapcsolatban. A legkonkrétabb értelemben a biodiverzitás az élet sokféleségét jelenti a környezet sokféleségével összefüggésben. A következő jelentési szinteket különböztetjük meg:

- genetikai sokféleség (fajon belül),
- fajok közötti (taxonómiai sokféleség),
- ökológiai sokféleség, amely magában foglalja az előzőek mellett az élőhelyek és a környezeti tényezők sokféleségét is (Sárbu–Benedek 2012).

Egy közösséget, élőhelyet, biocönózist többek között a diverzitással is jellemezhetnek, de különböző élőhelyeken zajló kedvező vagy akár kedvezőtlen változások is tetten érhetőek a diverzitás módosulásának az észlelésével. A biodiverzitás egy természetes ökoszisztéma gazdagságát és stabilitását is jelzi.

Egy adott élőhelyen, szűk vizsgálati egységen belül megtalálható közösség diverzitása az *alfa diverzitás*. Amikor a diverzitás változását egy változó környezeti körülmény – gradiens (tengerszint feletti magasság, sótartalom, talaj-pH stb.) – mentén vizsgáljuk, *beta diverzitás*ról beszélünk. Ritkábban használt az egy nagyobb tájegység (mondjuk egy folyó vízgyűjtő területe, egy hegység) közösségeinek a diverzitása, a *gamma diverzitás* (Sárbu–Benedek 2012). Az ideális az lenne, ha az egész biocönózis minden tagja szerepelne a diverzitáselemzésben, de erre nincs lehetőség. A gyakorlatban a legtöbbször valamilyen előre meghatározott szempont szerint kiválasztott csoport diverzitását mérjük (pl. énekesmadarak, hangyáközösség, növénytársulás stb.). Mivel a legtöbb tanulmány egy adott élőhellyel vagy közösséggel foglalkozik, leginkább az *alfa diverzitás* ismert és alkalmazott, számos olyan diverzitásindex létezik, amellyel kifejezhető.

Az *alfa diverzitás* kifejezhető egyszerűen a fajgazdagsággal (a fajszám egyszerű megszámlálása) is, azonban ez korántsem elegendő.

Talán legismertebb számítási módszer a *Shannon–Wiener*-féle diverzitásindex:

$$H = \sum_{i=1}^n p_i * \log p_i,$$

ahol:

$p_i = X_i/n$ → i-dik faj relatív gyakorisága,

X_i → i-dik faj egyedszáma,

n → összegyedszám,

S → fajszám.

Hasonlóan ismert számításmenet a Simpson–Youle-féle diverzitásindex, amely azt írja le, hogy milyen valószínűséggel tartozik a második mintázott egyed ugyanahhoz a fajhoz, mint az első.

$$D = \frac{1}{\sum_{i=1}^S p_i^2}.$$

Nagyon fontos mérőszám a *kiegyenlítettség – ekvitabilitás*, amely a megfigyelt diverzitás és az adott fajszám mellett elérhető maximális diverzitás (ha minden fajból egyforma egyedszám van) összehasonlítása. Ha egy közösséget egy-két faj dominál, és a többi faj csak nagyon kis egyedszámban figyelhető meg, akkor a kiegyenlítettség nagyon alacsony lesz. Ha viszont a fajok közel azonos egyedszámban képviselik magukat a közösségben, a kiegyenlítettség nagy lesz.

$$E_H = \frac{H}{\log S}.$$

Diverzitási rendezések

Ha diverzitásfüggvényeket veszünk igénybe a számításhoz, ezek eltérő tulajdonságai miatt megeshet az, hogy az egyik szerint az egyik közösség, a másik szerint a másik lesz a diverzebb. Ennek a problémának a megoldására valók a diverzitásrendezések, amelyek segítségével egy változó skálaparaméter segítségével egy görbét tudunk létrehozni, aminek a neve a közösség diverzitásprofilja. Az a közösség, amelyiknek az ábrán a diverzitásprofilja a másik felett fut, annak teljes hosszában, diverzebb lesz, ha pedig a két profil metszi egymást, egyik sem lesz diverzebb a másikonál. A diverzitásrendezéshez a PAST-program a Rényi-féle diverzitásrendezést használja, amely az egyes közösségek diverzitásértékeit az α skálaparaméter függvényében ábrázolja egy grafikonon, így kapva meg a közösségek diverzitásprofiljait (Tóthmérész 1995, 1997, 2002).

$$HR(\alpha) = \log \sum p_i^\alpha / 1 - \alpha$$

Feladat

Vegyük alapul három tőzeglápban (Mohos, Fenyőkút, Mluha) talált pókfajok (a fajnevek hatbetűs kóddal vannak jelölve) előfordulási adatait, tőzegláponként öt-öt mintában (18. táblázat). Számítsuk ki a három közösség diverzitását a különböző indexek segítségével, majd készítsük el a diverzitásprofilat az első fejezetben megismert PAST-program segítségével.

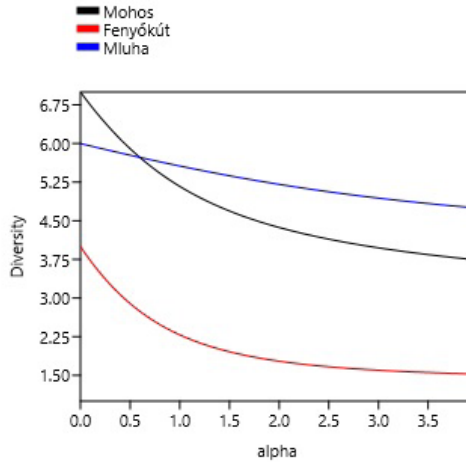
18. táblázat. *Az alfa-diverzitás kiszámításához felhasznált adatsorok*

Tőzegláp	Mohos	Fenyőkút	Mluha
Agrpro	5	0	6
Agydec	0	0	12
Apofus	0	0	13
Evafal	8	0	0
Hahpus	2	0	5
Meopro	0	15	0
Miimar	1	75	0
Nenret	10	11	0
Parpul	2	0	9
Pocpum	15	2	5

The screenshot shows the PAST software interface. The main window displays a table of alpha diversity indices for three communities: Mohos, Fenyőkút, and Mluha. The table includes the following data:

Index	Mohos	Lower	Upper	Fenyőkút	Lower	Upper	Mluha
Taxa_S	7	7	7	4	4	4	6
Individuals	43	43	43	103	103	103	50
Dominance_D	0,2288	0,1855	0,3012	0,5632	0,4676	0,6797	0,192
Simpson_1-D	0,7712	0,6988	0,8145	0,4368	0,3203	0,5322	0,808
Shannon_H	1,643	1,465	1,79	0,827	0,6402	0,9736	1,716
Evenness_e^H/S	0,7383	0,618	0,8556	0,5716	0,4742	0,6619	0,9274
Brillouin	1,436	1,272	1,569	0,7731	0,5905	0,9161	1,54
Menhick	1,067	1,067	1,067	0,3941	0,3941	0,3941	0,8485
Margalef	1,595	1,595	1,595	0,6473	0,6473	0,6473	1,278
Equitability_J	0,8441	0,7527	0,9199	0,5966	0,4618	0,7023	0,9579
Fisher_alpha	2,372	2,372	2,372	0,8279	0,8279	0,8279	1,78
Berger-Parker	0,3488	0,2558	0,4651	0,7282	0,6408	0,8155	0,26

53. ábra. *Diverzitásindexek kiszámítása a PAST-programban*



54. ábra. Diverzitásprofil

A Shannon Wiener- és a Simpson-féle diverzitásindexek alapján (53. ábra) a legdiverzebb pókfaunával a Mluha rendelkezik. A legkevésbé diverz a fenyőkúti lúp pókközössége, a Mohosé a kettő között helyezkedik el. A diverzitásprofil (54. ábra) viszont azt mutatja, hogy a Mluha és a Mohos tőzegláp pókdiverzitása nem különbözik egymástól (a két profil metszi egymást), a fenyőkúti lúp pókfaunájának a diverzitása mindkettőnél alacsonyabb, mivel a diverzitásprofil teljes hosszában a másik két profil alatt helyezkedik el.

IRODALOMJEGYZÉK

XXX

é. n. *A víz zavarosságmérésének titkai*. https://hannainst.hu/index.php?route=pavblog/blog&blog_id=29 [2022. július 22.]

XXX

é. n. *A zavarosságmérés – asztali és hordozható zavarosságmérők*. <http://www.zavarosság.hu/zavarosságmeres> [2022. július 25.]

ABBASI, Tasneem–ABBASI, S. A.

2011 Water Quality Indices Based on Bioassessment: The Biotic Indices. *Journal of Water and Health* 9. 2. 330–48.

AHMAD, Waqas et al.

2021 Impact of Land Use/Land Cover Changes on Water Quality and Human Health in District Peshawar Pakistan.” *Scientific Reports* 11. 1. 16526.

ALDAYA, Maite M.–CHAPAGAIN, Ashok K.–HOEKSTRA, Arjen Y.–MEKONNEN, Mesfin M.

2012 *The Water Footprint Assessment Manual*. 0 ed. Routledge. <https://www.taylorfrancis.com/books/9781136538520> [2022. április 25.]

ARROW, Kenneth et al.

1996 Economic Growth, Carrying Capacity, and the Environment. *Environment and Development Economics* 1. 1. 104–10.

BALOG Adalbert–BÁLINT János–BENEDEK Klára

2008 *Kertészeti Rovartan*. University Press Târgu Mureş.

BAZSÁNÉ dr. SZABÓ, Marianne

2008 *Biológiai Vízminősítés*. https://www.nive.hu/Downloads/Szakkepze_si_dokumentumok/Bemeneti_kompetenciak_meresi_ertekelesi_eszkozrendszerenek_kialakitasa/14_1223_033_01115.pdf

BODÁNÉ KENDROVICS Rita

2011 Az ökológiai szemlélet igénye és kialakítása. Módszerek a Környezetmérnök BsC képzés Vízminőség-védelem című tantárgy oktatásában. *Iskolai nevelés a fenntartható fejlődésért* 1–5. 460–83.

BOOTH, Barbara Diane–Stephen D. MURPHY–Clarence J. SWANTON

2010 *Invasive Plant Ecology in Natural and Agricultural Systems*. CABI.

BORHIDI Attila

2003 *Magyarország Növénytakarásai*. Akadémiai Kiadó.

BOROSY András Péter et al.

2001 *Sokváltozós Adatelemzés. Kemometria*. Nemzeti Tankönyvkiadó. <http://www.staff.u-szeged.hu/~rajko/Kemometria01/KemomKonyv.html> [2022. szeptember 3.]

- BORSOS Sándor
2017 *Vízbiológiai Munkafüzet*. <https://bisel.hu/UserFiles/File/bisel-munkafuzet.pdf>.
- BRAY, J. Roger–CURTIS, J. T.
1957 An Ordination of the Upland Forest Communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs* 27. 4. 325–49.
- BUTANESCU-VOLANIN, Remus
2019 *Statistica Descriptiva (2018)*. Sibiu, Editura Universității “Lucian Blaga” din Sibiu. https://www.academia.edu/39867061/Remus_Butanescu_Volanin_Statistica_Descriptiva_018_ [2022. szeptember 3.]
- CHAMBERS, Nicky–SIMMONS, Craig–WACKERNAGEL, Mathis
2013 *Sharing Nature’s Interest: Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability*. London, Routledge.
- CIOBANU, Elena
2009 Compoziția chimică a apei în contextul bolilor osteoarticulare. *Sănătate Publică, Economie și Management în Medicină* 2. 29. 42–46.
- CODLEA, Gheorghe (ed.)
2007 *Volume I: Les Associations Herbacées Natural*. Cluj-Napoca, Presa Universitară Clujeană.
2012 *Volume II: Les Associations Anthropogènes*. Cluj-Napoca, Presa Universitară Clujeană.
2015 *Volume III: Les Associations Forestières et Arbustives*. Cluj-Napoca, Presa Universitară Clujeană.
- CRISTEA, Vasile–GAFTA, Dan–PEDROTTI, Franco
2004 *Fitosociologie*. Cluj-Napoca, Presa Universitară Clujeană.
- D’AGOSTINO, Ralph B.
1986 Tests for the Normal Distribution. In: *Goodness-of-Fit Techniques*, Routledge.
- DÁVIDOVITS Zsuzsanna
2011 *A lakossági ivóvízellátás környezetbiztonsági kockázatai és a vízminősítés laboratóriumi módszerei*.
- DOMOKOS Erzsébet–CSIZMADIA Beáta–ELEKES Tímea
2017 *Phytosociological Study Concerning Habitats with Fritillaria Meleagris on the Course of the Nirajul Mare River (Mureș County, Romania)*. 27. 3.
- EWING, Brad et al.
2010 *Calculation Methodology for the National Footprint Accounts*, 2010 Edition.
- FÖLDI László–HALÁSZ László
2009 *Környezetbiztonság*. Budapest, Wolters Kluwer Hungary Kft.
- FREEDMAN, David A.
2009 *Statistical Models: Theory and Practice*. Cambridge University Press.

FÜLÖP András

2006 Klaszteranalízis: alapvető fogalmak és algoritmusok. In: *Bevezetés az adatbányászatba*. Panem Könyvkiadó Kft.

GALLÉ, László

2013 *A szupraindividuális biológia alapjai – Populációk és közösségek ökológiája*. Szeged, Hungary, JATEPress.

GALTON, Francis

1886 Regression Towards Mediocrity in Hereditary Stature. *The Journal of the Anthropological Institute of Great Britain and Ireland* 15. 246–63.

XXX

2022 *Global Footprint Network*. <http://www.footprintnetwork.org>

HAMMER, Oyvind–HARPER, David A. T.–RYAN, Paul D.

2001 PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4. 1. 9.

HANEY, J. F.

2013 An Image-Based Key to Stream Insects Beta Version 1.0. *University of New Hampshire Center for Freshwater Biology* <cfb.unh.edu>. <http://cfb.unh.edu/StreamKey/html/index.html> [2022. október 1.]

HILSENHOFF, William L.

1987 An Improved Biotic Index of Organic Stream Pollution. *The Great Lakes Entomologist* 20. 1. 31–39.

Hilsenhoff, William L.

1988 Rapid Field Assessment of Organic Pollution with a Family-Level Biotic Index. *Journal of the North American Benthological Society* 7. 1. 65–68.

JAKAB Sámuel–KRÉZSEK Júlia

2008 *Talajtani és agrokémiai laborgyakorlatok*. University Press Târgu Mureş.

JUHÁSZ Péter–KISS Béla–MÜLLER Zoltán

2009 Vízi makroszkópikus gerinctelen fajgyűttesek VKI szempontú értékelése. https://www.bioaquapro.hu/hu/system/files/45_0.pdf.

KATONA Krisztián et al.

2013 *Terepi módszertani segédlet a vadonélő patás fajok erdei élőhelyeken megfigyelhető hatásainak méréséhez*.

KEVEY Balázs

2006 *Magyarország Erdőtársulásai*. Pécsi Tudományegyetem.

KOVÁCS Erzsébet

2014 *Többváltozós adatelemzés*. Budapest, Budapesti Corvinus Egyetem, Typotex.

KOVÁCS Margit

1992 *Front Cover Image for Biological Indicators in Environmental Protection*. *Biological Indicators in Environmental Protection*. New York, Ellis Horwood.

KREBS, Charles J.

1989 *Ecological Methodology*. New York, Harper & Row.

XXX

2004 LEGE 311 28/06/2004 – Portal Legislativ. <https://legislatie.just.ro/Public/DetaliuDocumentAfis/53106> [2022. március 23.]

2002 LEGE 458 08/07/2002 – Portal Legislativ.”<https://legislatie.just.ro/Public/DetaliuDocument/37723> [2022. március 23.]

LENDVAI Józsefné

2008a *Környezetvédelmi mérés-technikai III: talajvizsgálatok.*

2008b *Környezetvédelmi mérés-technikai V: vízvizsgálatok.* https://www.nive.hu/Downloads/Szakkepzesi_dokumentumok/Bemeneti_kompetenciak_meresi_ertekelesi_eszkozrendszerenek_kialakitasa/14_1214_035_01030.pdf.

2008c *Terepi vizsgálatok II: talaj és levegő vizsgálatok.* https://www.nive.hu/Downloads/Szakkepzesi_dokumentumok/Bemeneti_kompetenciak_meresi_ertekelesi_eszkozrendszerenek_kialakitasa/14_1214_029_01030.pdf.

LENGYEL Attila

2013 *Vegetációosztályozás 2. A Braun-Blanquet-féle módszer. Lengyel Attila kutatói blogja.* <http://lengyel-attila.blogspot.com/2013/12/vegetacioosztalyozas-2-braun-blanquet.html> [2022. augusztus 27.]

LIU, Wenlong et al.

2020 Processes and Mechanisms Controlling Nitrate Dynamics in an Artificially Drained Field: Insights from High-Frequency Water Quality Measurements. *Agricultural Water Management* 232: 106032.

LIYANAGE, D. N. D. et al.

2022 Significance of Mg-Hardness and Fluoride in Drinking Water on Chronic Kidney Disease of Unknown Etiology in Monaragala, Sri Lanka. *Environmental Research* 203: 111779.

LUPULESCU, D.–TUDOR, A.–IANCU, M.

2008 Starea de sănătate a copiilor în relație cu calitatea apei potabile. *Journal of Hygiene and Public Health* 58. 3.

MAYER Annamária

2021 <https://spssabc.hu/>. SPSS.

MÉSZÁROS, Ernő

2003 *Légkörtan környezettudományi és környezetmérnök hallgatók számára.* Veszprém, Veszprémi Egyetemi Kiadó.

MÓCZÁR László

1969 *Állathatórózó I–II.* Budapest, Tankönyvkiadó.

NKOA ONDOUA, Roger–OWEN, Michael D. K.–SWANTON, Clarence

2015 Weed Abundance, Distribution, Diversity, and Community Analyses. *Weed Science* 63. 64–90.

ORSZÁGOS KÖZEGÉSZSÉGÜGYI KÖZPONT

2016 Ivóvíz kiskaté lakossági tájékoztató a gyakran ismételt kérdésekről.

XXX

2022 *Past 4 - the Past of the Future*. <https://Www.Nhm.Uio.No/English/Research/Infrastructure/Past/>.

PÉCZELY György

2009 *Éghajlatlan*. Budapest, Nemzedékek Tudása Tankönyvkiadó.

PODANI János

1997 *Bevezetés a többváltozós biológiai adatfeltárás rejtjelmeibe*. Budapest, Scientia.

PRÉCSÉNYI István–BARTHA Zoltán–KARSAI István–SZÉKELY Tamás

2002 *Alapvető kutatástervezési, statisztikai és projektértékelési módszerek a szupraindividuális biológiában*. Debrecen, Kossuth Egyetemi kiadó.

REES, William E.

2017 Ecological Footprints and Appropriated Carrying Capacity: What Urban Economics Leaves Out. *Urbanisation* 2. 1. 66–77.

REICZIGEL, Jenő–HARNOS Andrea–SOLYMOSSI Norbert

2007 *Biostatisztika nem statisztikusoknak*. Budapest, Pars Kft.

RUBENOWITZ-LUNDIN, Eva–HISCOCK, Kevin M.

2013 Water Hardness and Health Effects. In: Sellinus, Olle (ed.): *Essentials of Medical Geology: Revised Edition*. Dordrecht: Springer Netherlands, 337–50. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4375-5_4 [2022. július 25.]

SANDA, Vasile–ÖLLERER, Kinga–BURESCU, Petre

2008 *Fitocenozele din Romania - Sintaxonomie, structura, dinamica si evolutie*. București, Ars Docendi Universitatea din București.

SÁRBU, Ioan–BENEDEK, Annamária

2012 *Ecologie Practică*. Sibiu, Editura Universității Lucian Blaga din Sibiu.

SEBESTYÉN Ágnes

2011 A lakossági tájékoztatás szerepe az otthoni ivóvíz utótisztító kisberendezések biztonságos alkalmazásában.

SOUTHWOOD, Richard–HENDERSON, Peter

2000 *Ecological Methods 3rd Edition*. Blackwell Scientific.

STEFANOVITS, Pál–FÜLEKY György–FILEP György

2010 *Talajtan*. Mezőgazda Kiadó.

SZALAI, Zoltán–JAKAB Gergely

2011 *Bevezetés a talajtanba környezettanosoknak*. Typotex Kiadó.

SZÉP Tibor–MARGÓCZI Katalin–TÓTH Albert

2011 *Biodiverzitás monitorozás*. Nyíregyháza: Nyíregyházi Főiskola.

SZERÉNYI Gábor

2005 *Természetismereti, ökológiai és környezetvédelmi vizsgálatok terepen és laboratóriumban*. Győr, Korona Kiadó.

SZILÁGYI Ferenc

2011 Az ivóvíz vezetőképességének és keménységének összefüggése. *Akvarisztikai magazin* 85. 12–16.

- TAKÁCS Viktor
2017 BISEL-Vizsgálat gyakorlati segédanyag. https://bisel.hu/UserFiles/File/BISEL_lepesrol_lepesre_tm_forma.pdf.
- TÓTHMÉRÉSZ, Béla
1995 Comparison of Different Methods for Diversity Ordering. *Journal of Vegetation Science* 6. 283–90.
1997 *Diverzitás rendezések*. Budapest, Scientia Kiadó.
2002 A diverzitás jellemzésére szolgáló módszerek evolúciója. In: *Magyar botanikai kutatások az ezredfordulón Tanulmányok Borhidi Attila 70. születésnapja tiszteletére*. Pécs, Pécsi Tudományegyetem Növényzeti Tanszéke, 607–38. https://biodiversity.unideb.hu/files/oktatas/Tothmeresz_Diverzitas-Jellemzese.pdf
- VACANTE, Vincenzo–BONSIGNORE, Carmelo Peter
2012 Implementation of IPM in Citriculture. In: *Integrated Control of Citrus Pests in the Mediterranean Region*. Bentham Science Publishers, 28.
- VÁRBIRO Gábor–BODA Pál–CSÁNYI Béla–SZEKERES József
2015 *Módszertani útmutató a makroszkopikus vízi gerinctelenek élőlény-csoport VKI szerinti gyűjtéséhez és feldolgozásához*.
- VARGA Attila–HÁZLINGER György
2009 *Ökoiskolai útmutató*. Oktatókutató és Fejlesztő Intézet.
- VODOPICH, Darrell
2009 *Ecology Laboratory Manual*. McGraw-Hill Education.
- WACKERNAGEL, Mathis–REES, William
1998 *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. New Society Publishers.
- WOLDA, Henk
1981 Similarity Indices, Sample Size and Diversity. *Oecologia* 50. 3. 296–302.
- ZHANG, Yunhui et al.
2021 Hydrochemistry, Quality and Potential Health Risk Appraisal of Nitrate Enriched Groundwater in the Nanchong Area, Southwestern China.” *Science of The Total Environment* 784: 147186.
- ZIMMERMAN, Melvin C.
1993 The Use of the Biotic Index as an Indication of Water Quality. In: *Tested Studies for Laboratory Teaching*, Proceedings of the 5 th Workshop/Conference of the Association for Biology Laboratory Education (ABLE), 85–98.
- ZSIGMOND Andrea Rebeka
2022 *Adatfeldolgozás alapjai R-rel. Alkalmazások a környezettudományban*. Scientia Kiadó, Kolozsvár.

REZUMAT

Manual practic de ecologie și protecția mediului

Publicația este concepută special pentru studenții specializării horticultură și agricultură, în scopul oferirii unei înțelegeri mai profunde a diferitelor teme legate de ecologie și protecția mediului, și pentru a facilita aplicarea practică în mediul agrar. Scopul cărții este de a-i ajuta pe viitorii specialiști agricoli să înțeleagă mai bine mediul viu și abiotic înconjurător. Ecologia și protecția mediului reprezintă una dintre cele mai critice provocări ale zilelor noastre, ale căror efecte pot fi resimțite pe întreaga planetă. Specialiștii care lucrează în mediul agricol au un rol-cheie în găsirea soluțiilor pentru armonizarea producției sustenabile și a protecției mediului.

Primul capitol este un ghid metodologic simplu, ușor de folosit, care oferă studenților ajutor în colectarea și prelucrarea corectă a datelor. Această cunoaștere este esențială pentru fiecare specialist care se ocupă de ecologie, dar în același timp este o cunoaștere foarte utilă și pentru cei care lucrează în domeniul agrar. În următoarele capitole abordăm în detaliu diverse probleme de protecție a mediului, precum și aspectele practice ale studiilor ecologice relevante pentru domeniul agricol, vom împărtăși cunoștințe concrete care vor permite viitorilor specialiști agricoli să înțeleagă mai bine cum să implementeze metodologia studiului mediului înconjurător.

Avem încredere că acest ghid practic va fi o sursă de inspirație și orientare utilă pentru studenți în timp ce fac pași către activitățile agricole conștiente de mediul înconjurător. Sperăm că informațiile oferite de această carte vor contribui la formarea unui specialist agricol responsabil și conștient din punct de vedere ecologic, care să aducă o contribuție la bunăstarea generațiilor viitoare.

ABSTRACT

Practical Handbook of Ecology and Environment Protection

The publication is specifically designed for horticultural and agricultural engineering university students, aiming to provide a deeper understanding of various topics related to ecology and environmental protection, and to ease practical applications in agricultural environments. The purpose of the book is to assist future agricultural professionals in gaining a better understanding of our living and non-living environment. Ecology and environmental protection are one of the most critical challenges of our time, with impacts felt across the entire planet. Agricultural environment professionals play a key role in finding solutions to harmonize sustainable production and environmental protection.

The first chapter is a user-friendly research methodology guide that provides assistance to students in the proper collection and processing of data. This knowledge is fundamentally essential for every ecology-focused professional, but at the same time, it is also highly beneficial for those working in the agricultural domain. In the following sections, we will delve into various environmental issues and the practical aspects of ecological studies that are important in the agricultural field, we will share specific knowledge that will help future agricultural professionals gain a deeper insight into the methodological implementation of environmental studies.

We are confident that this practical handbook will be inspiring and provide valuable guidance to the students as they take steps towards environmentally conscious agricultural practices. We hope that the knowledge provided through this book will contribute to the students becoming responsible and environmentally conscious agricultural professionals, making a positive impact on the well-being of future generations.

A SZERZŐKRŐL

Benedek Klára

Biológus, 1979. július 20-án született Marosvásárhelyen. A középiskolát a szatmárnémeti Kölcsey Ferenc Elméleti Líceumban végezte (1993–1997). Egyetemi tanulmányait a kolozsvári Babeş–Bolyai Tudományegyetemen folytatta, ahol biológia szakos egyetemi (1998–2002), biocönológia és védett területek menedzselése magiszteri (2003) diplomát szerzett. Doktori tanulmányait a Szegedi Tudományegyetem Természettudományi Karán végezte nappali tagozaton, a magyar állam határon túli hallgatók számára fenntartott ösztöndíjas helyén. Doktori dolgozatának témája a territoriális *Formica* fajok fészekkomplexumainak szerveződése és közösségszervező hatása.

Oktatói tevékenységét már doktoranduszként, a Szegedi Tudományegyetem Természettudományi Karának Ökológia Tanszékén elkezdte. Innen került 2005 szeptemberében először óraadóként, majd 2006-ban alapállású tanársegédként a Sapientia EMTE Marosvásárhelyi Karára, ahol a kertészmérnök- és a tájépítész-hallgatókat oktatja mind a mai napig. 2008-ban és 2014-ben a mai Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem elődje, a Budapesti Corvinus Egyetem Nyáradszeredai Kihelyezett Tagozatán oktatta a kertészmérnök-hallgatókat. A Sapientia EMTE Kertészmérnöki Tanszékén 2013-tól az akkor induló tájépítész szakos hallgatók szakkoordinátora lesz, majd 2014 szeptemberétől adjunktusi fokozatot szerez. 2020 szeptemberétől a Kertészmérnöki Tanszék vezetője.

Fő kutatási területe a mirmekológia, a rovarökológia és az agrár-ökoszisztémák ökológiája.

Urák István

Biológus, 1974. november 2-án született. Tanulmányait szülőfalujában, Köpecen kezdte el, a középiskolát Sepsiszentgyörgyön, a Mikes Kelemen Líceumban végezte (1989–1993), egyetemi tanulmányait Kolozsváron, a Babeş–Bolyai Tudományegyetemen folytatta, ahol biológia–kémia szakos egyetemi (1994–1998), biocönológia és védett területek menedzselése magiszteri (1999) és biológia doktori fokozatot szerzett (2005). Doktori dolgozatának témája az Olt vízgyűjtő medencéjének felső szakaszán élő pókok faunisztikai és ökológiai vizsgálata volt, amely publikáció formájában is megjelent.

Oktatói tevékenységét 1993–94-ben kezdte el a Székelyszáldobosi Általános Iskolában, ahol egy évig helyettes tanár volt. Az egyetemi oklevél megszerzése után szülőfalujában, a Köpeci Általános Iskolában tanított (1999–2005), és egy ideig igazgatója is volt az iskolának (2001–2005). A doktori oklevél megszerzése után, 2005-től a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetemen Kolozsvári Karán adjunktus, 2008-tól docens, 2008–2020 között tanszékvezető a Környezettudo-

mány Tanszéken. A 2023–2024-es tanévtől áthelyezését kérte az egyetemen belül a frissen alakult Sepsiszentgyörgyi Karra, ahol ökológiát és erdészeti rovarantant oktat. Fő kutatási területe az arachológia: a pókok faunisztikai és ökológiai vizsgálatával kapcsolatosan jelentetett meg több tudományos dolgozatot hazai és nemzetközi lapokban.

Fazakas Csaba

Geográfus, a földtudományok doktora, egyetemi adjunktus. Kutatási területe: talajgenetika és osztályozás, talajerózió, lejtődinamika-vizsgálat. Tanulmányait a marosvásárhelyi Bolyai Farkas Elméleti Líceumban kezdte, majd a kolozsvári Babeş–Bolyai Tudományegyetem Földrajz Karán szerzett geográfus oklevelet talajtan–geomorfológia szakirányon. Doktori fokozatát a Debreceni Egyetem Földtudományok Doktori Iskolájában szerezte. Szakmai pályafutását a Maros Megyei Talajtani és Agrokémiai Hivatalban kezdte, ahol hét éven át talajtani szakmérnökként tevékenykedett. Konzulens oktatóként csatlakozott a Budapesti Corvinus Egyetem nyáradszeredai kihelyezett tanulmányi központjában működő kertézmérnöki képzés tevékenységéhez. Oktatói tevékenységét 2013-tól a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem Marosvásárhelyi Karának Kertézmérnöki Tanszékén folytatta, talajtan, talajmelioráció, agrokémia, biofizika és agrometeorológia, tájépítészeti földrajz tárgyak oktatásával megbízott oktatójaként. Tagja a PPGroup Növényvédelmi Kutatócsoportnak, a Román Talajtani Társaságnak, a Kolozsvári Akadémiai Bizottságnak, az MTA Külső Köztestületének, és alelnöke az Erdélyi Múzeum-Egyesület Agrártudományi szakosztályának.

Scientia Kiadó

400112 Kolozsvár (Cluj-Napoca)
Mátyás király (Matei Corvin) u. 4. sz.
Tel./fax: +40-364-401454
E-mail: scientia@kpi.sapientia.ro
www.scientiakiado.ro

Műszaki szerkesztés:

Metaforma Kft.

Borítóterv:

Tipotéka Kft.

Korrektúra:

Szenkovics Enikő

Tipográfia:

Könczey Elemér

A kiadvány kifejezetten kertészmérnök és agrármérnök egyetemi hallgatók számára készült. Célja, hogy elősegítse az ökológia és környezetvédelem különböző témaköreinek mélyebb megértését, és megkönnyítse a gyakorlati alkalmazásokat agrárkörnyezetben. Bízunk benne, hogy ez a gyakorlati jegyzet inspiráló és hasznos útmutatást nyújt a hallgatóknak a környezettudatos agrártevékenységhez, és hozzájárul ahhoz, hogy a jövő generációk iránt felelős, és ökológiai szempontból tudatos agrárszakemberekké váljanak.

ISBN: 978-606-975-084-1



9 786069 750841