

Bugac Projekt: Egy ökoszisztéma kutatás négy és fél évtizede

Összefoglalás

A Bugac Projekt a Dél-Alföld egyik leghosszabb távú, kifejezetten természetvédelmi célú komplex ökológiai programja. Az 1976-ban, a Kiskunsági Nemzeti Park bugaci egységén, egy legeltetéstől e célból izolált homokpusztai gyeppen indult és részben máig is tartó kutatások főbb témái jól indikálják a természetis ökológia mindenkor fontosabb aktuális irányait, korszakait és főleg a természetvédelmi gyakorlat elvárásait. A Nemzetközi Biológiai Program produktíobiológiai célkitűzéseivel 1976-ban indult projekt keretében végzett kutatások kiterjedtek az anyag- és energiaforgalmon túl a táplálkozási hálózat elemzésére, az energiaforgalomban és a trofikus struktúra alakításában kulcstevékenységet játszó koalíciók és populációk szerepének tisztázására. A térbeli szerkezet feltárására irányuló vizsgálatok kimutatták, hogy a buckahátakra és buckaközi mélyedésekre tagolt kutatási terület foltos jellegét eltérően indikálják a különböző közösségek, a legérzékenyebben a vegetáció jelzi a különbségeket, de még a legkevésbé szenzitív indikátorok mintázata is eltér a véletlenszerűtől. A közösségek térbeli foltozottságra adott válasza fontos lehet a természetvédelmi tervezésben. A mintaterületen végbemenő szekunder szukcesszió egyes foltokban elérte az erdőssztyepp fázist, a szukcesszionális változásokat azonban kedvezőtlenül befolyásolja a klímaváltozás, a szárazság hatására inverz folyamatok indulnak be és a diverzitás csökken. Bolygatási kísérletek (legelés, taposás, öntözés, felső talajréteg eltávolítása, műtrágyázás, kaszálás, kis területek „hermetikus” lekerítése) rámutattak a közösségek differenciális válaszára. A legtartósabb káros hatást a műtrágyás kezelés okozta. A mintaterület példája bizonyítja, hogy a táji és regionális biotikus kapcsolatok fontosak, ezek nélkül egy viszonylag kis kiterjedésű védett terület hosszú távú fennmaradása szinte reménytelen. A számos kisebb témát is felölelő kutatások alapján olyan természetvédelmi ajánlások fogalmazhatók meg, melyek hozzájárulhatnak a természetközeli homokterületek eredményes kezeléséhez.

Kulcsszavak: IBP-megközelítés; klímaváltozás; ökoszisztéma; szukcesszió; stabilitás

Bevezetés

Más biológiai tudományokhoz hasonlóan az ökológiát sem kerültek el a divatkorszakok változásai. A kísérletes és molekuláris diszciplínáktól eltérően azonban – a kutatások sajátos tér-idő léptékéből adódóan – az aktuálisan népszerű témák berobbanása és a kegyvesztettek lecsengése lényegesen hosszabb periódusokat vesz igénybe. Részben a gyors váltások, mint kényszerek hiánya miatt nem a divatos témák művelésében rejlő kecsegtető (pl. citációs, IF, HI stb.) sikerek, hanem tényleges elméleti (pl. a szupraindividuális biológiai ismeretében levő hiátusok) vagy gyakorlati (pl. természet- és környezetvédelmi) igények felelősek a kutatási korszakok váltakozásaiért. Igen jó példa erre a 10 évre tervezett (1962-1972), de sokkal hosszabb Nemzetközi Biológiai Program (IBP), amely az ökoszisztémák produktivitásának, anyag- és energiaforgalmi működésének feltárásával kívánt választ és megoldást adni a világ környezeti és energetikai gondjaira. A program egyik nemzetközi zászlóshajója Lengyelország volt, ahol felismerték, hogy az igen költséges molekuláris kutatások helyett az ökológiával lehet eljutni a világ élvonalába. Jó egybeesés volt, hogy jelen sorok szerzője 1972-ben tanulmányúton járt a Lengyel Tudományos Akadémia Ökológiai Intézetében és az irodalmi ismereteken túl az ott szerzett személyes benyomások alapján az Állattan Tanszéken akkor szerveződő ökológiai munkacsoport három tagja egy IBP-jellegű, zoológiai főprofilú ökoszisztéma kutatást határozott el, ezzel mintegy kiszélesítve az addig szinte egyeduralkodó, Balogh és Szelényi szellemében folyó hazai állattársulástani vizsgálódásokat. Ezt tükrözik a kezdeti vizsgálatok alapkonceptiói (Móczár és mtsai. 1980).

A kutatásokhoz kiváló lehetőséget jelentett a Kiskunsági Nemzeti Park (KNP). A leendő projekt helyszínéül az NP bugaci egységének homokpusztai részét jelöltük ki. Ebben a következő szempontok vezettek: (1) az eredmények

általánosíthatósága érdekében a mintaterület a Dél-Alföldön jelentős kiterjedésű élőhely-típust reprezentáljon és ne legyen csupán kis területű természetvédelmi kuriózum; (2) legyen gyep, hogy a vertikálisan bonyolultabb szintzettségéből adódó problémákat elkerüljük; (3) a vizsgálandó életközösség legyen viszonylag egyszerű, kis diverzitású, hogy a program ne fulladjon csupán taxonómiai identifikációs kátyúba; (4) a bugaci pusztán belül legyen viszonylag természetközeli, kevésbé degradált. Az intenzív legeltetés elkerülése végett a puszta egy 2,5 hektáros sarkát kerítettük el és ott, mintegy szabadföldi laboratóriumban kezdődtek az intenzív kutatások 1976-ban (1. ábra).



1. ábra: A bugacpusztai mintaterület részlete kísérleti eszközökkel a kutatások kezdetén.

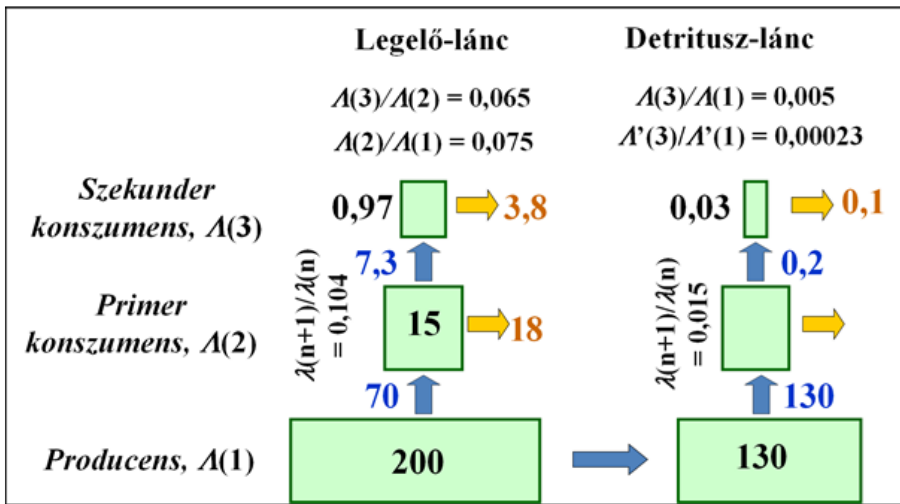
A munkában részt vevő team tagjai úgy oszlottak meg, hogy a főbb produktíobiológiai funkcionális csoportoknak legyen egy-egy felelőse, növényevőknek Györffy György, holt növényi anyagokkal táplálkozó dekomponálóknak Hornung Erzsébet, ragadozóknak Gallé László. Móczár László pedig egy

általános ökofaunisztikai témával szállt be a munkába. A Növényteni Tanszék három hallgatót delegált a teambe, közülük Körmöczi László vett részt hosszabb távon a kutatásokban. A projekt tematikus gazdagodásához járult hozzá a megporzó kulcstevékenységet ellátó vadméhek kutatásával Tanács Lajos. A mintaterülettel határos erdő szélén felépített faház megfelelő bázisul szolgált a vizsgálatokhoz és lehetővé tette hallgatói táborok és terepgyakorlatok szervezését is.

IBP megközelítés és táplálkozási struktúra

Az első években az eredeti tervvel összhangban az IBP-megközeítést alkalmaztuk. Ennek kezdeti lépése a primer producens (növényi), a primer konzumens (növényevő), a szekunder konzumens (ragadozó) és a dekomponáló (lebontó) energiaszintek biomasszájának becslése volt, rendszeres havonként, majd kéthetenkénti mintavétellel. Az így elkészült biomassza-piramis jó információt ad a mennyiségekről és a szintek biomassza-arányairól, azonban nem sokat mond az ökoszisztéma működéséről, hiszen abban a tárolt mennyiségek-nél nagyobb szerepe van a *turnover*-nek, az egyes energiaszintek által fogalmazott biomassza volumenének és a szintek kapcsolódásának. Ehhez, ahol lehetséges volt, megkezdődtek az anyag- és energiaforgalmi mérések mind szabadföldön, mind pedig laboratóriumi körülmények között. Mindez elsősorban az egyes fajpopulációk és az általuk alkotott koalíciók táplálékfogyasztásának direkt vagy indirekt becsléséhez számos ötlet, módszer kifejlesztését vagy adaptációját tette szükségessé. Az így kapott eredményekből készült leegyszerűsített produkcióbiológiai blokksema (2. ábra) alapján a következőket állapíthattuk meg: (1) A vártak megfelelően a primer (növényi) produkció mennyisége nagyon kicsiny, (2) Az energiaszintek szorosan épülnek egymásra, a szintek közötti forgalom jelentős. Tömegességük-nél fogva a bugaci produkcióbio-

lógiai blokk kulcspopulációit a vizsgált időszakban a következő koalíciók adták: (1) zöld növények; (2) egyenesszárnyúak (főleg sáskák); (3) kabócák és részben poloskák; (4) hangyák; (5) pókok; (7) érdekes módon a gyíkok is, melyek a vizsgálatok kezdeti szakaszában meglepően nagy denzitásokat produkáltak és (7) a makrodekomponálók közül az ászkák és ikerszelvényesek jönnek számításba, de ezek jelentősége eltörpült az előzőekhez képest.

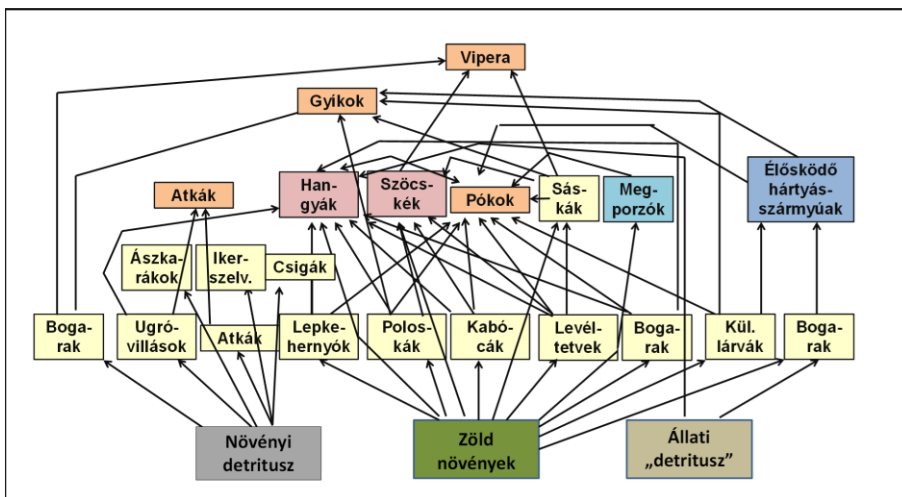


2. ábra: A bugaci mintaterület életközösségének produkciós vázlat (g/m²). 1, 2, 3: energiaszintek; A : a zöld növényzeten alapuló legelő lánc adott szintjének biomaszája; A' : a holt növény anyagon alapuló lánc biomaszája; λ : és kék nyíl a szintek közötti anyagforgalom; sárga nyíl: a rendszert elhagyó biomasz mennyisége. (Gallé L. és mtsai. 1985 alapján teljesen módosítva).

A 2. ábrán bemutatott vázlat azonban még mindig egy igen durva megközelítés. Ugyanis az energiaszintek paramétereinek viszonylagos stacionaritása mellett is egy-egy szinten belül jelentős változások, átrendezőségek (pl. fajcserék) mehetnek végbe anélkül, hogy azokat a fenti produkciós paraméterek indikálnák. Ezért ez a megközelítés a közösségek látszólagos perzisztenciáját és feltételezhető stabilitását túlbecsülheti, mert a stabilitás nem elég érzékeny indikátora. Érzékenyebb és pontosabb képet ad a táplálkozási hálózat analízise. Ebben az esetben, mint minden hasonló vizsgálat során, alapvető dilemma az

alapegységek megválasztása. Ha faji minősítésű populációkkal próbálkozunk, akkor még a mai számítástechnikai módszerekkel is nehezen kezelhető struktúrákhoz jutunk, hiszen a területen kb. 2000 fajképviselő él, ezek kapcsolatainak ábrázolása már technikailag is lehetetlen. Ezért a bemutatott hálózat kompartmentjeit általában koalíciókba rendezett populációk alapján állítottuk össze (3. ábra).

A Jordán-féle kulcsfaj-indexeket kiszámolva kiderült, hogy a zöld növényzet – hangyák – pókok – gyíkok – szöcske vezető kompartmentek sorrendjét kapjuk, ez csak részben felel meg a fenti, produkciós tömegességi sorrendnek. A hálózatot alkotó láncok hossza az átlagos irodalmi értékeket kissé meghaladja, tehát a primer produkció csekélyége itt nem befolyásolja a paramétert. Egyéb tulajdonságaiban (trofikus szintek közötti arányok, blokk-elrendeződés, ragadozók közötti átfedési viszonyok, az intervallum jelleg korlátozott jelenléte, a kapcsolatok száma stb.) a bugaci háló általában jól megfelel a más területekről leírt táplálkozási hálózatok tulajdonságainak.

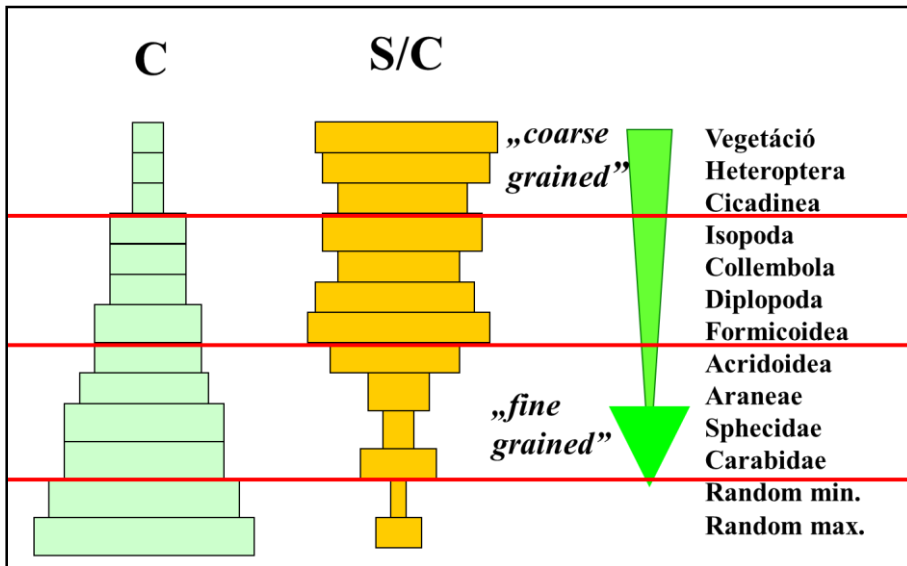


3. ábra: A bugaci mintaterület táplálkozási hálózatának elnagyolt vázlata, Gallé L. és mtsai. 1985; 2009 adatai alapján. A szereplő, koalíció szintű kompartmentek az anyag- és energiaforgalomban feltehetően jelentős szerepet játszó csoportokat képviselik a rákosi vipera kivételével, melyet kiemelt természetvédelmi értéke miatt tüntettük fel.

Mennyiben manifesztálódik a terület térbeli heteromorfiája az ökológiai heterogenitásban?

A mintavételek során szembesültünk azzal, hogy az enyhén, buckahátakra, buckaközi mélyedésekre és ezek átmeneteire tagolt felszínű terület különböző foltjai feltehetően más-más környezeti hatásúak lehetnek, annak ellenére, hogy a szintkülönbség szinte sehol nem haladja meg a három métert. A szemre is észlelhető térbeli heteromorfiát jól jelzi a növényzet (7. ábra), amelynek három uralkodó társulási típusa a területen a zárt homoki legelőgyep, a buckaháti nyílt évelő homokpusztagyep és a buckaközi kékperjés rét. Kérdés, hogy a terület fizikai heteromorfiáját és az azt indikáló növényzeti foltokat miként „képezik le” az állatközösségek, tehát a kabóca, sáska, hangya stb. közösségek foltozottsága mennyire követi a növényzetét. A kérdés úgy is megfogalmazható, hogy a felszíni heteromorfia mennyiben jelenik meg a vizsgált objektumok indikációjában, mennyiben válik ökológiai heterogenitássá. Ennek fontos eleme, hogy mennyiben elegendő egy növénytársulási folt területe egy-egy állatközösség kialakulásához. Ez utóbbi kérdés a természetvédelmi területek térbeli tervezésében is fontos. Az egyes vizsgált csoportok térbeli heteromorfia-indikációjának érzékenységét a bugaci mintaterület különböző pontjairól származó felvételek hasonlósági analízisével vizsgáltuk. A mintaterület foltjai közötti nagy hasonlóság az adott csoport viszonylag rossz heteromorfia-érzékenységét jelzi („*fine grained response*”), míg a kis hasonlóság a foltok jó elkülönítését, tehát a csoport nagyobb érzékenységét indikálja („*coarse grained response*”). A hasonlósági értékek variációs koefficiensei pedig a különböző foltípusok „klasztereződésének” mértékét jelzik egy-egy közösség leképezésében. A vizsgált referenciaközösségeket a fenti statisztikák alapján a *coarse grained* – *fine grained* kontinuumba helyezve (4. ábra), a növényzet és azzal legszorosabban kapcsolatban álló szipókás csoportok (poloskák: Heteroptera, kabócák: Cicadinea) a térbeli heteromorfia legérzékenyebb indikátorainak bizonyultak,

míg a sáskák (Acrididae), farkaspókok (Lycosidae), kaptatódarazsak (Sphecidae) és futóbogarak (Carabidae) kevésbé érzékenyeknek. A közepes érzékenységű csoportokat az ászkák (Isopoda), ugróvillások (Collembola), iker-szelvényesek (Diplopoda) és hangyák (Formicoidea) képviselik. Még legkevésbé érzékeny indikátorok is heterogénebbnek képezik le a területet, mint véletlen szimulációval előállított fiktív közösségek.



4. ábra: A mintaterület különböző pontjain vett minták átlagos hasonlósági értékei (C) és azok variációkoefficiensei (S/C) a vizsgált közösségtípusok alapján. A zöld nyíl a *coarse grained*–*fine grained* irányú kontinuumot jelzi, a random min. és max. pedig a véletlen szimulációval alkotott virtuális közösségek szélső értékei.

A fentieknél részletesebb és finomabb analízissel, főleg a „mozgó ablak” módszer alkalmazásával (kisméretű, érintkező és folyamatosan elcsúsztatott kvadrátok analízisével) Körmöczi és munkatársai (Erdős és mtsai. 2014; Körmöczi és mtsai. 2016) kimutatták, hogy a folthatárokon a növénytársulások közötti átmenetek általában nem folyamatosak és a határok feltűnően állandóak. Tölgyesi kutatásai arra is fényt derítettek hogy az élőhely fizikai tulaj-

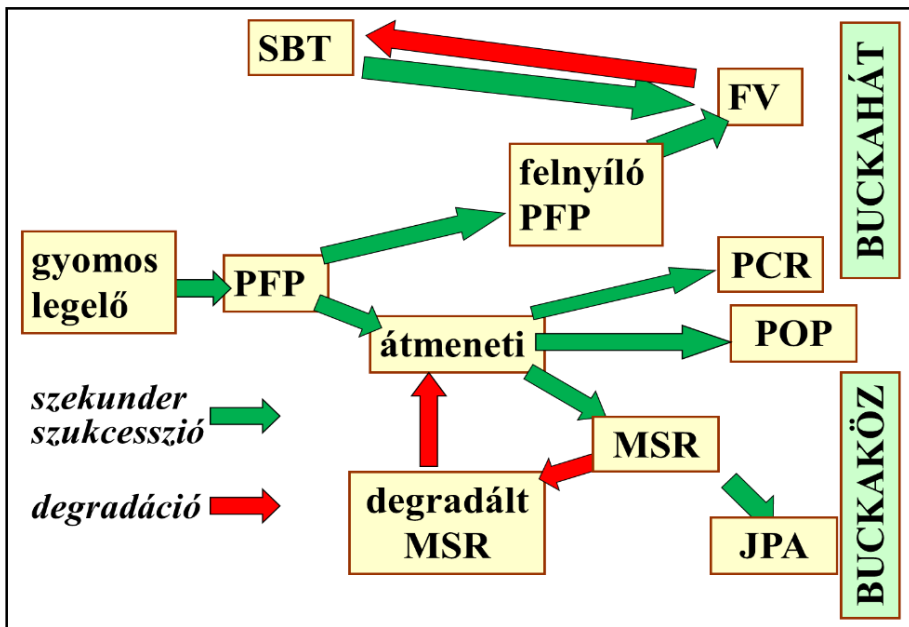
donságainak térbeli változásaira a vegetáció mintegy „elcsúszva” reagál, feltételezhetően biotikus interakciók hatására. A gerinctelen állati közösségek térbeli heteromorfia indikációjában levő különbségeket a fentiek mellett alátámasztották pókokon, poloskákon és egyenesszárnyúakon végzett transzekt vizsgálatainak eredményei is (Torma és mtsai. 2009; Gallé R. és mtsai. 2010). Ugyancsak a térbeli heterogenitással függenek össze azok a főleg zoológiai kutatások, amelyek kimutatták a szezonális térbeli átrendeződések mértékét és dinamikáját kabócákon (Györffy és Karsai, 1991), egyenesszárnyúakon (Györffy és Szőnyi, 1989; Kelemen és mtsai. 2011), pókokon (Kerekes, 1988; Gallé R. és mtsai. 2010) és gyíkokon (Gyovai, 1984).

Közösségdinamikai változások: a legeltetett pusztából az erdőssztyepp felé

A mintaterület elkerítésének eredményeképpen másodlagos szukcessziós folyamat indult be (Körmöczy és mtsai. 2000), melynek során a legeltetett állapotból átmeneti, majd természetközeli gyepek, a megfelelő élőhely-foltokban pedig erdőssztyepp alakultak ki. A szekunder szukcesszió során a mintaterület növényzetében kezdetben (1976) uralkodó zárt homoki legelőgyep (*Potentillo-Festucetum pseudovinae*) az évek során differenciálódott, a magasabb térszinteken nyílt, évelő homokpusztai gyepbe (*Festucetum vaginatae*), a buckaközökben pedig buckaközi kékperjés rétbe (*Molinio-Salicetum rosmarinifoliae*) ment át. Ezt az egyszerű vázlatot azonban az extrém szárazság nagymértékben módosította és a szukcesszió retikuláris jellege érvényesült (5. ábra). Míg az 1976 és 1988 közötti időszakban a már kialakult társulásokon belül csak finomabb vegetációs változásokat detektálhattunk, melyek elég jól megfeleltek az elvárásoknak, a későbbiek során viszont a tartós szárazság és klí-

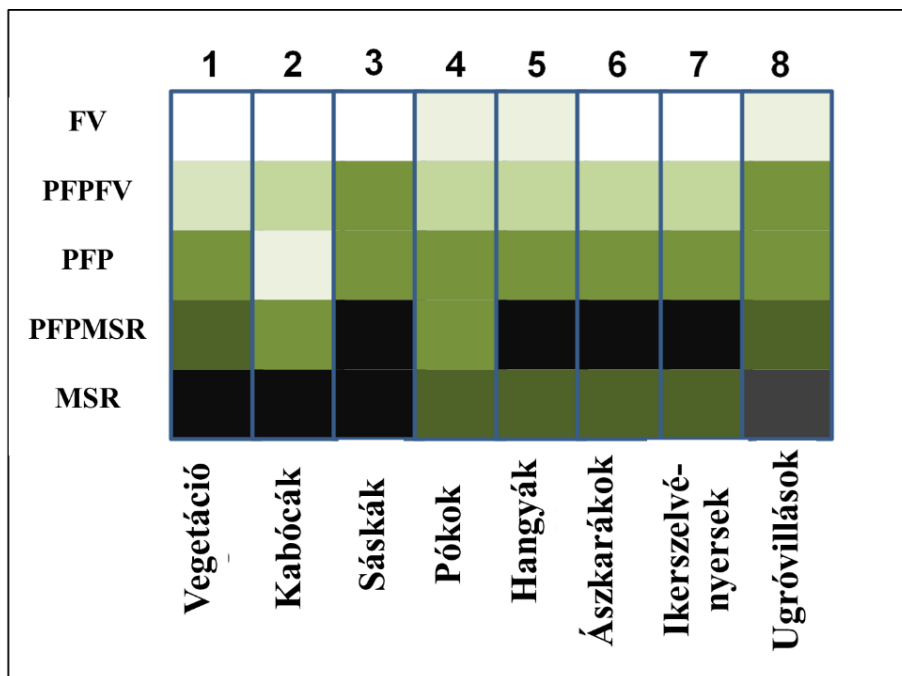
maváltozás egy általános degradációs folyamatot indukált, és a magasabb térszintekről is visszaszorult a természetközeli nyílt gyepek, helyét vadrozs-fedélrozsok gyepek (*Secali sylvestris-Brometum tectorum*) állományok foglalták el.

Míg a fenti, növényzeti vázlat jól megfelel az irodalmi adatoknak, sokkal kevesebbet tudunk az állatközösségek szukcessziójáról. Ezt általában úgy tárgyalják, hogy – teljes konkordanciát feltételezve – egyszerűen leírták növényzet egyes szukcessziós stádiumaiban az állati együttesek összetételét.



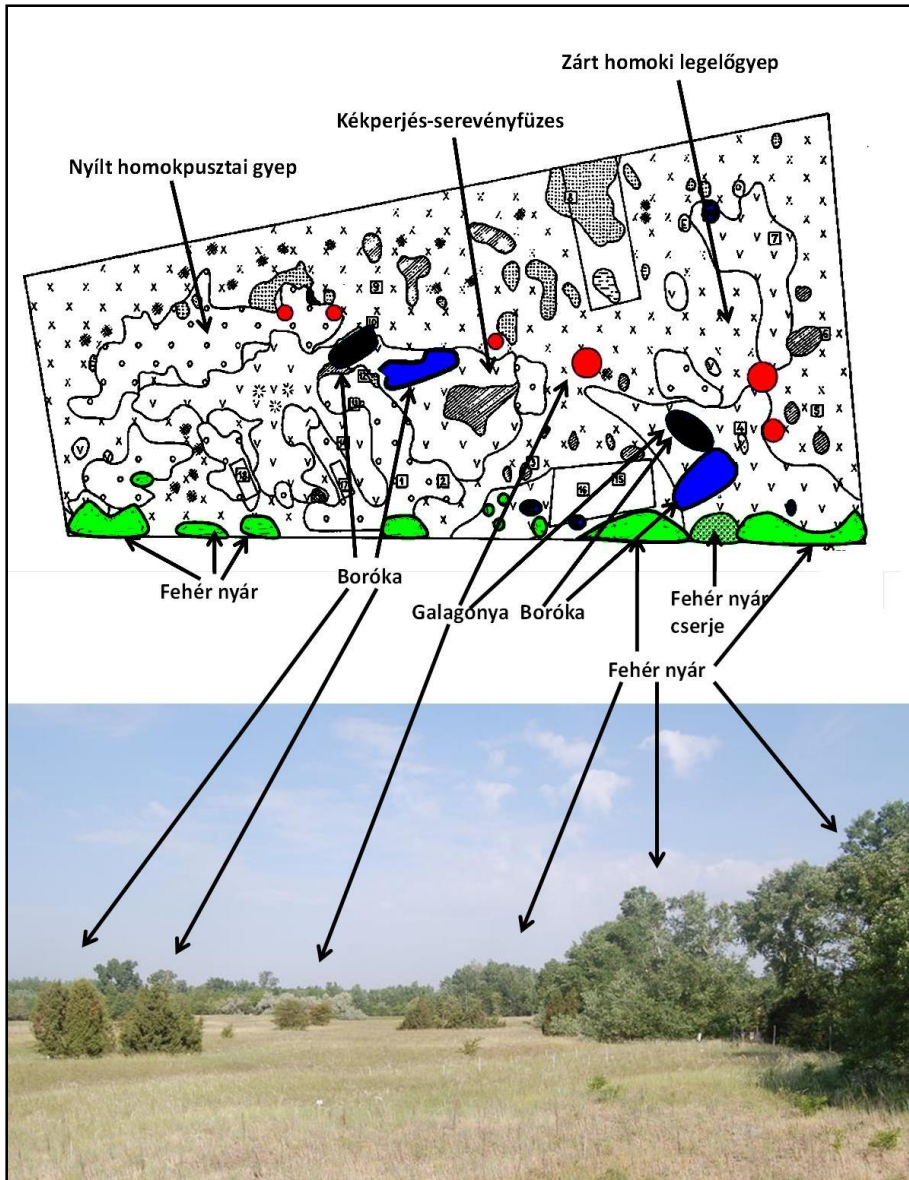
5. ábra: A mintaterületen végbemenő szukcesszió vázlata. Rövidítések: PFP homoki legelőgyep (*Potentillo-Festucetum pseudovinae*), FV nyílt, élő homokpusztai gyepek (*Festucetum vaginatae*), MSR buckaközi kékperjés rét (*Molinio-Salicetum rosmarinifoliae*), SBT vadrozs-fedélrozsok gyepek (*Secali sylvestris-Brometum tectorum*). JPA nyáras-borókás (*Junipero-Populetum albae*), PCR és POP a nyáras-galagonyás-borókás erdőssztyepp kezdeményei.

A bugaci kutatások azonban kimutatták, hogy az állattársulások csak többkevesebb hűséggel kísérik a növényi szukcessziót (6. ábra).



6. ábra: A vegetáció szukcessziós stádiumait képviselő foltokban a különböző állati közösségek szukcessziós állapota. Fenn a buckaháti, alul a buckaközi foltok szerepelnek. A növénytársulások rövidítése, mint a 8. ábrán, a kettős rövidítések átmeneti stádiumokat képviselnek (Bartha és mtsai. 2015 után).

Viszonylag összehangolt a vegetáció és egyes növényevő csoportok (kabóca és egyenesszárnyú), dinamizmusa, ettől a legintenzívebb eltérések a talajlakó fauna tagjai között mutathatók ki (hangya, ikerszelvényes és ugróvillás közösségek). A szukcessziós változások intenzitását autoszimilitási elemzéssel vizsgálva megállapítható, e folyamatok sebessége élőhelyek minősége szerint is változik. A négy évtized során a boróka, nyár és galagonya megjelenésével elkezdődött a zárótársulásnak tekinthető erdőssztyepp kialakulása (7. ábra).



7. ábra: Az előrehaladott (42 éves) szekunder szukcesszió eredménye. Fenn: az eredeti, Körmöczi L. által készített vegetációtérkép (csak az uralkodó növénytársulásokat tüntettük fel) és az erre vetített, négy évtized után megjelenő erdőfoltok. Alul: a terület 2018-ban.

A cserje- és lombkoronaszint legfontosabb alkotói közül nyárfák a szomszédos erdőből sarjadtak ki, ezért a terület szélén a legelterjedtebbek, borókák a buckaközi mélyedéseket foglalták el, a galagonya több térszinten is megjelent.

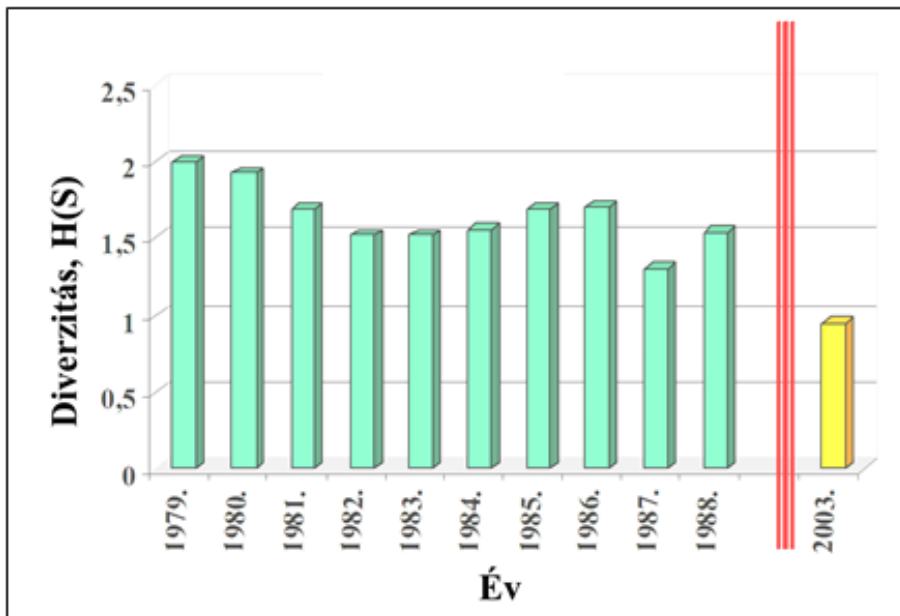
A viszonylag nagy időskálájú szukcesszió mellett jó néhány csoporton sikerült kimutatni a szezonalitást is. A gyíkok az évszaktól függően más-más foltokba vándorolnak, hasonló foltdinamizmus figyelhető meg a sáskákon és kabócákön is. Meglepő volt egy egyébként rendkívül ritkának tartott kabóca télvégi tömeges megjelenése és a pókok téli aktivitásának észlelése.

Klímaváltozás hatása

A klímaváltozás elsősorban a talajvíz szintjének csökkenésén keresztül hat leg több közösségre. A növényzeten Körnöczi és munkatársai (személyes közlés) azt tapasztalták, hogy a buckahátak és buckaközi mélyedések közötti növényzeti határok viszonylag stabilak, a degradáció az egyes foltokon belül megy végbe, nem pedig a határok eltolódásával. Az állatközösségek viszont a foltok közötti habitat-áttöréssel reagálnak a változásokra. A szekunder szukcesszió során követhető alsó és felső térszintek differenciálódása a szárazabb időszakban visszarendeződik és ez a homogenizáció erőteljes diverzitási veszteséggel jár (8. ábra). Ez a homogenizációs-differenciációs átrendeződés az egyes közösségekben eltérő sebességű lehet. A növényi közösségeken és hangyákon kimutattuk, hogy a különböző csapadékmennyiségű éveket mintegy egy év alatt indikálják a fenti mintázati transzformációval.

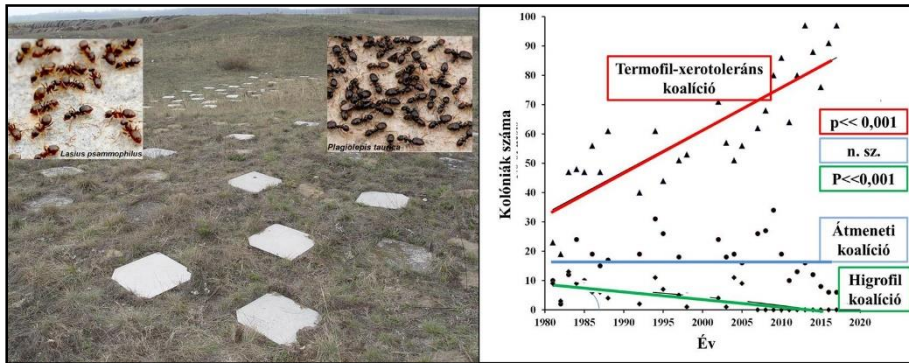
Szemben a teljesen nyílt gyepekkal a szukcesszió során kialakult erdősztyepp sajátos növényzeti architektúrája következtében csökkenti a klímaváltozás káros hatásait.

A klímaváltozás főleg a természetvédelmi szempontból is értékesebb buckaközi közösségeket érinti. A szárazságtűrő-melegkedvelő populációk előretörésére jó például szolgálnak a mintaterület hangyái (Gallé L., 2017). Vizsgálatukat indokolja, hogy a hangyák a homoki területek makrofaunájának legtömegesebb tagjai (a talajfelszínén mozgó fauna >80%-át teszik ki). 1980-ban a terület két uralkodó térszintjére 40-40 palalapot helyeztünk el (később növelve számukat, jelenleg kb. 120 lap „működik”). Tavasszal a felmelegedő lapok alá költöznek a hangyakolóniák (9. ábra). Ekkor a lapok felemelésével, minimális zavarással a kolóniák megszámlálhatók és nyomon követhető a populációk trendje: az eredetileg csak a buckahátakra jellemző melegkedvelő-szárazságtűrő populációk alkotta koalíció denzitása a klímaváltozás hatására nőtt és elterjedt a buckaközi mélyedésbe is.



8. ábra: A bugapusztai állatközösségek koalíciók szerinti diverzitásának (Shannon-függvény) változása 10 éves periódusban és 2003-ban feltehetően a klímaváltozás hatására bekövetkező csökkenése.

A korábban buckaközi, relatíve higrofil koalíciót alkotó populációk viszont kihaltak, az átmeneti, „opportunuus” koalíció változása nem szignifikáns (9. ábra).



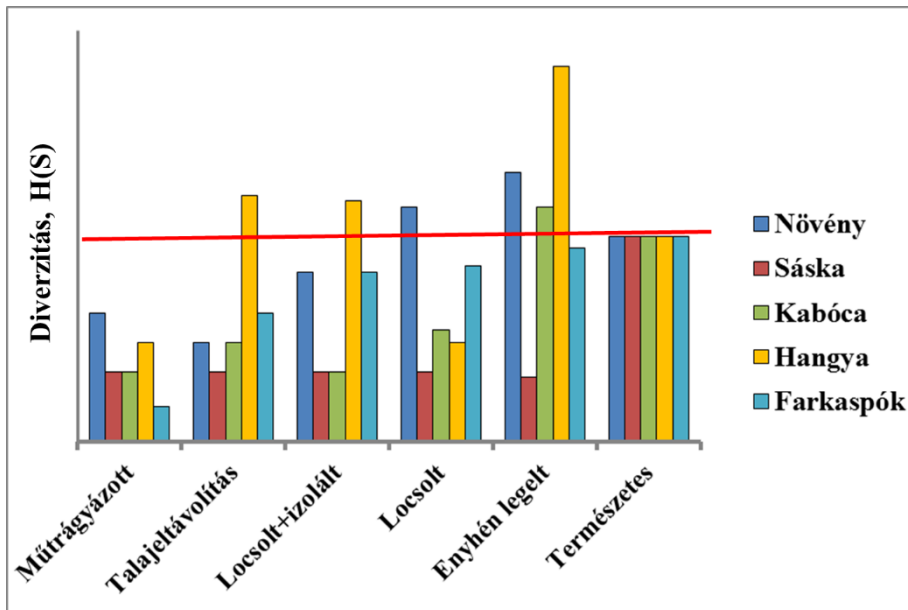
9. ábra: A területre helyezett palalapok a hangyakolóniák vizsgálatára (bal oldali képen a lapok egy része és alsó oldalukon csoportosuló hangyák láthatók) és ennek alapján három, tolerancia-tulajdonságaik alapján elkülönített hangyakoalíció időbeli trendje (jobb oldali kép).

Ökoszisztéma-stabilitás

A biológiai egyensúly a médiában és – sajnos – olykor a szakemberek nyilatkozataiban is makacsul megjelenő közhely, holott évtizedek óta tudjuk, hogy a hosszú távú perzisztencia és kvázi-stacionaritás csak a közösségek egy részére jellemző, sok együttes-típus dinamizmusában erős sztochaszticitást mutat, sőt szélsőséges kilengéseket is produkál („liberálisan szabályozott populációk” alkotják). E jelenségekért pedig az életközösségek stabilitási tulajdonságai felelősek, melyek leginkább az adott közösség bolygatásra és stresszre adott válaszaival vizsgálhatók. Jelen kutatás során szabadföldi kísérletekkel szimuláltuk a homoki gyepen várható bolygató és stresszelő hatásokat, információkat remélve a nemzeti parkhoz tartozó terület természetvédelmi szempontból megfelelő kezelhetőségéről és terhelhetőségéről. Az alkalmazott kísérleti kezelések a következők voltak (Gallé L. és mtsai. 1991): legelés (a

puszta nagy részén adott), taposás, öntözés, felső talajréteg eltávolítása, műtrágyázás, kaszálás, kis területek „hermetikus” lekerítése. Bár a diverzitás önmagában csak egyik és igen durva jellemzője az együtteseknek, de ez is jól jelzi az egyes csoportok eltérő válaszát néhány kísérletesen alkalmazott diszturbanciára (10. ábra).

Az enyhe legeltetés több közösség diverzitását növelte (ez megfelel a mérsékelt zavarás elméletének). A diverzitás mellett más paramétereket is figyelembe véve kiderült, hogy a legintenzívebb és leginkább elhúzódo hatást a műtrágyás kezelés okozta.



10. ábra: Néhány kísérletesen alkalmazott bolygatás hatása öt közösség természetközeli állapotához (piros vonal) viszonyított diverzitására

Táji és regionális kapcsolatok (skálanövelés)

Speciális módszerek (pl. ablakcsapdák) alkalmazásával kiderült, hogy a területen a vizsgált csoportokat képviselő mintegy 1500 faj száma megnő, ha a bevándorlókat is figyelembe vesszük. Györffy és Harmat (személyes közlés)

kutatásaiból tudjuk, hogy a kabócák eredeti kb. 100-as fajszáma a mintaterületre bevándorlókkal és ott kolonizációval próbálkozókka közel 200-ra nőtt, és hasonlóan jelentős fajsza-növekedést sikerült kimutatni a poloskákön is. A hangyák elsősorban a szomszédos erdőből kaptak „utánpótlást”. A vártnál sokkal intenzívebb, folytonos propagulum-eső biztosítja a szukcessziós stádiumok egymásutániségát és fontos tényezője az életközösség fennmaradásának. A nagy kiterjedésű és változatos védett területek (pl. nemzeti parkok) egyik fontos előnye, hogy mintegy fajpoole-ként e migrációs folyamatokat biztosítják.

Fordított kapcsolatok működnek pl. a gyíkok esetében. Gyovai (1984) a homoki gyíkokon globálisan vonatkozásban is maximum-közeli gyík-denzitást tapasztalt a bekerített, legeltetéstől védett területen. A populáción belüli versengés hatására azonban a fiatal egyedek kiszorulnak a legelőre, ahol nagyobb a mortalitási ráta. Ilyen módon a mintaterület szomszédos legelő gyíkpulációjának mintegy utánpótlást biztosító propagulum-forrásaként működik.

A fentiek mellett még nagyobb, regionális léptékű kutatások folytak vagy folynak a Kiskunság más homoki területein (pl. Ásotthalom, Fülöpháza, Kéleshalom, Bodoglár stb.), sőt a Kárpát-medence más területein (pl. Dráva-sík, Gönyű) is, mintegy lehetőséget adva a bugaci eredmények általános érvényességének tesztelésére, sőt a kutatásokat regionális léptékűre is kiterjesztve É-Finnországtól D-Törökországig is végeztünk szukcessziós kutatásokat (Gallé L., 1991; 1999).

Elemi mechanizmusok vizsgálata (skálazsugorítás)

Az eddig leírt eredmények részben csak jelenség-szintűek, azok magyarázatához kisebb léptékű és a mechanizmusokra összpontosító kutatások szükségesek. Tekintettel arra, hogy a 45 év során számos ilyen téma került kidolgozásra,

itt a terjedelem adta kényszerfeltételek okán a teljesség igénye nélkül csak néhány felsorolására vállalkozhatunk:

- (1) Populációk közötti kölcsönhatások tanulmányozása főleg növényi, hangya- és gyíkpopulációkon és speciális mechanizmusok, pl. kompetitív funkcionális válasz felfedezése (Gallé L., 1990; Körmöczy, 1985; 1987; Gyovai, 1984);
- (2) táplálkozási stratégiák és optimalizáció, ezek a kvantitatív arányok magyarázatául szolgálhatnak (Gallé L. publikálatlan vizsgálatok);
- (3) mesterségesen indukált szukcesszió miniparcellákon (Margóczy K.);
- (4) egyedi különbségek szerepe a populációk sikerében és hatása a közösségek szerveződésére (Szűts és mtsai. 2011);
- (5) levéltetvek trofikus kapcsolatai (Molnár és mtsai. 2007);
- (5) a magbank összetétele, a növényi propagulum-eső intenzitása és szukcessziós szerepe (Kincsek, 1985);
- (6) sustinens (megporzó) populációk mennyisége, szerepe és dinamizmusa (Tanács, 1982; Tanács és Józán, 1985; Sárospataki és Fazekas, 1995);
- (7) hangyalesők térhasználata (Sipos, 1987);
- (8) kaparódarazsak ökológiája és viselkedése (Karsai, 1989);
- (9) dél-alföldi teresztris életközösségek monitoring rendszerének tervezete és kipróbálása (számos szerző);
- (10) a selyemkóró tápnövény-közösségeinek feltárása (Molnár és mtsai. 2010; Gallé R. és mtsai. 2015);
- (11) plesiobiotikus kapcsolatok hangyapopulációk között (Kanizsai és mtsai. 2013; Gallé L. és mtsai. 2014);
- (12) a társas szerveződés hatásainak megnyilvánulása produkciós és fiziológiai paraméterekben (Gallé L., 1978a; b; 1990);
- (13) nagyságfüggő diverzitási mintázatok kicsiny erdőfoltokban (Gallé L. és Kecskés, 2003).

Természetvédelmi javaslatok

A kutatások során már az első évtizedekben is konkrét természetvédelmi kezelési javaslatokat fogalmaztunk meg. Álljon itt közülük néhány! (1) A mintaterületünkhöz hasonló, 8-10 hektár nagyságú természetközeli gyep kialakítása, kivonva azt a legelés hatása alól. A mozaikos, buckahátakat és szélbarázdákat is tartalmazó parcella és már meglévő, természetközeli gyep és erdő szomszédságában kapjon helyet, elősegítve a természetközeli erdőössztyepp kialakulását. (2) A pusztán, főleg az egykori tanyahelyeken levő facsoportok madárállományának megőrzése mellett a rovarok számára mintegy „diverzitást elnyelő lyukakként” funkcionáló akácfoltokat le kell cserélni hazai fafajokra. (3) A buckaközi, kékperjés-serevényfűzes társulással borított foltok legeltetését minimalizálni kell. (4) Javítani kell a teljes puszta vízellátottságát a lehetőségek szerint, pl. a csatorna működtetésének beszüntetésével. (5) A szekunder szukcesszióban átmeneti jellegű, de nagy diverzitású és értékes fajokat tartalmazó stádiumok fenntartására 2-4 ha nagyságú parcellákon időszakosan (3-5 évig) szüneteltetni kell a legelést, majd mintegy forgásszerűen a felhagyást a szomszédos parcellákon kell megismételni. (6) A pusztát óvni kell a túllegeltetéstől. (7) A műtrágyázást be kell szüntetni. (8) A pusztát övező erdőket hazai fafajokkal kell felújítani.

Záró megjegyzések

1990 óta, az akkor megalakult az Ökológiai Tanszékhez tartozik a Bugac Projekt irányítása. A projekt több mint 40 éve (lásd a 11. ábrát) során mintegy hat egyetemi doktori, négy kandidátusi, egy akadémiai doktori és számos PhD értekezés született. A szak- és diplomadolgozók száma óvatos becslések szerint is meghaladja az ötvenet. A publikációk számát még nehezebb becsülni, hivatkozásaik jó része a Nemzeti Park kiadványaiban megtalálható. A résztvevők között öt egyetemi professzort vagy professor emeritust, több docenst, vezető

múzeumi vagy intézeti kutatót, nemzeti parki alkalmazottat találni, de van, aki külföldön ért el nemzetközi sikereket és elismerést. Hazánk szinte minden vezető ökológusa ellátogatott a területre, mellettük négy földrésről voltak egyéni és csoportos látogatók, kooperátorok.



11. ábra: A projekt 40 éves évfordulóját ünneplő résztvevők egy csoportja a bázisul szolgáló faház tornácán (2016).

Köszönetnyilvánítás

A kutatásokat a Kiskunsági Nemzeti Park, az MTA, a környezetvédelemért felelős minisztériumok és több nemzetközi program támogatta.

Irodalom

- Bartha, S., Gallé, L., Kovács Láng, E., Kröel-Dulay, Gy. (2015): Ökológiai kutatások szárazföldi életközösségekben. In: Iványosi Szabó, A. (szerk.): A Kiskunsági Nemzeti Park Igazgatóság negyven éve. A Kiskunsági Nemzeti Park Igazgatóság, Kecskemét, 345-370.
- Erdős, L., Bátor, Z., Tölgyesi, C., Körmöczy, L. (2014): The moving split window (MSW) analysis in vegetation science – an overview. *Applied Ecology and Environmental Research* 12, 787-805.

- Gallé, L. (1990): Assembly of sand-dune ant communities. In: Veeresh, G.K., Mallik, B., Viraktamath, C.A. (ed.): *Social Insects and the Environment*. Oxford & IBH, New Delhi, 706-707.
- Gallé, L. (1991): Structure and succession of ant assemblages in a north European sand dune area. *Ecography* 14, 31-37.
- Gallé, L. (1999): Composition and structure of primary successional sand-dune ant assemblages: a continental-scale comparison, in: Tajovsky, K., Pizl, V. (eds.): *Soil Zoology in Central Europe*, ISB AS CR, Ceske Budejovice, 67-74.
- Gallé, L. (2017): Climate change impoverishes and homogenizes ants' community structure: a long term study. *Community Ecology* 18, 128-136.
- Gallé, L., Hornung E., Szőnyi G., Györffy Gy., Kincsek I. (1985): A JATE Állattani Tanszékének komplex ökológiai kutatásai. In Tóth K. (ed.): *Tudományos kutatások a Kiskunsági Nemzeti Parkban 1975-1984*. Hungexpo, Budapest, 174-197.
- Gallé, L., Györffy, Gy., Hornung, E., Körmöczi, L. (1989) : Indication of environmental heteromorphy and habitat fragmentation by invertebrate communities in grasslands. In: Bohac, J, Ruzicka, V. (ed.): *Proc. 5th Internat. Conference, Bioindicators Deterioration Regionis, I*. Ceske Budejovice, 167-171.
- Gallé, L., Györffy, Gy., Hornung, E., Körmöczi, L., Szőnyi, G., Kerekes, J. (1991): Response of different ecological communities to experimental perturbations in a sandy grassland. In: Ravena, O. (ed.): *Terrestrial and Aquatic Ecosystems, Perturbation and Recovery*, Ellis Horwood, Chichester, 193-197.
- Gallé, L., Györffy, Gy., Hornung, E., Körmöczi, L. (2009): A Bugac Projekt rövid története. In: Gallé, L. (ed, 2009): *Entomológia: kutatás, szemléletformálás, ismeretterjesztés*. SZTE Ökológiai Tanszék, Szeged, 38-54.
- Gallé, L. (1978a): Respiration as one of the manifestations of the group effect in ants. *Acta Biologica Szeged* 24, 111-114.
- Gallé, L. (1978b): Data on the ecological energetics of *Formica pratensis* Retz. (Hymenoptera: Formicidae) in the psammophile ecosystems of the Southern Hungarian Plain. *Acta Biologica Szeged* 24, 97-104.
- Gallé, L. (1990): Assembly of sand-dune forest ant communities. *Memorabilia Zoologica* 44, 1-6.
- Gallé, L., Kecskés, T. (2003): The assembly of forest ant communities: the role of forest size. In: Kusova, P. (ed.): *Forests, Ants and Nature Conservation*. Liberec. 40-44.
- Gallé, L., Kanizsai, O., Maák, I., Lőrinczi, G. (2014): Close nesting association of two ant species in artificial shelters: results from a long-term experiment. *Acta Zoologica Academy of Sciences Hungariae* 50, 359-370.

- Gallé R., Torma A., Körmöczi L. (2010): Small scale effect of habitat heterogeneity on invertebrate assemblages in sandy grasslands (Hungarian Great Plain). *Polish Journal of Ecology* 58, 333–346.
- Gallé, R., Erdélyi, N., Gallé-Szpisjak, N., Tölgyesi, C., Maák, I. (2015): The effect of the invasive *Asclepias syriaca* on the ground-dwelling arthropod fauna. *Biologia* 70, 104-112.
- Gyovai, F. (1984): Synbiological study of the lizard populations of sandy grasslands. *Acta Biologica Szeged* 30, 159-174.
- Györffy, G., Karsai, I. (1991): Estimation of spatio-temporal rearrangement in a patchy habitat and its application to some Auchenorrhyncha populations. *The Journal of Animal Ecology* 843-855.
- Györffy, G., Szőnyi, G. (1989): Movements of phytophagous insect populations between ungrazed sandy grassland and adjacent areas. *Acta Biologica Szeged* 35, 129-155.
- Kanizsai, O, Lőrinczi, G., Gallé, L. (2013): Nesting association without interdependence: A preliminary review on plesiobiosis in ants. *Psyche* 2013, 1-9.
- Karsai, I. (1989): Factors affecting diurnal activities of solitary wasps (Hymenoptera: Sphecidae and Pompilidae). *Entomologia generalis* 14, 223-232.
- Kelemen, P., Gallé, R., Torma, A., Bozsó, M. (2011): Mikrodomborzat és mikroklíma hatása egyenesszárnyú közösségek szerkezetére heteromorf homoki élőhelyen. DOI: 10.13140/2.1.4944.0006
- Kerekes, J. (1988): Faunistic studies on epigeic spider community on sandy grassland. *Acta Biologica Szeged* 34, 113-117.
- Kincsek, I. (1985): Seed dispersal study in sandy grassland. *Juhász Gyula Tanárképző Főiskola Tud. Közleményei* 11, 41-53.
- Körmöczi L. (1985): Determinations of the degree of interspecific competition in monocultures. *Acta Biologica Szeged* 31, 173-181.
- Körmöczi L. (1987): Studies on the competition between *Plantago indica* L. and *Scabiosa ochroleuca* L. *Acta Botanica Hungarica* 33, 200-218.
- Körmöczi L., Gallé L., Györffy Gy., Margóczy K. (2000): Successional dynamics of sand-dune plant and invertebrate communities: the role of stress and disturbances. In: Lajtha, K. Vanderbilt, K. (eds): *Cooperation in Long Term Ecological Research in Central and Eastern Europe*, Oregon State University, Oregon:77-83.
- Körmöczi, L., Bátor, Z., Erdős, L., Tölgyesi, C., Zalatnai, M., Varró, C. (2016). The role of randomization tests in vegetation boundary detection with moving split-window analysis. *Journal of Vegetation Science* 27, 1288-1296.
- Móczár, L., Gallé, L., Györffy, Gy., Hornung, E. (1980): Complex ecological investigations in a sand soil grassland: aims and general methodology. *Acta Biologica Szeged* 26, 161-164.

- Molnár, N., Angyal, D., Gulyás, E. (2007): Investigations of aphid-ant mutualism in sandy habitat complexes (Homoptera: Aphididae; Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological News* 10, 113
- Molnár, N., Harkai, A., Setényi, R. (2010): Spatial patterns of *Aphis gossypii* (Sternorrhyncha: Aphididae) populations feeding on milkweed (*Asclepias syriaca*). *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica* 45, 71-80.
- Sárospataki, M., Fazekas, J. P. (1995): Ecological characteristics of bee communities on a sandy grassland. *Tiscia* 29, 41-46.
- Sipos, I. (1987): Density of ant-lion larvae (Neuroptera: Myrmeleontidae) in sandy grasslands. *Acta Biologica Szeged* 33, 115-123.
- Szűcs, K., Varga, Sz., Tánczos, E., Gubán, B, Mizsei, E., Farkas, E., Harmati, M., Gallé, L. (2011): The role of individual differences in food utilization and interference competition: case studies on five ant species (Hymenoptera: Formicidae). *Entomologica romanica* 16, 65-66.
- Tanács, L. (1982): Untersuchung der blumenbesuchenden bienenförmigen Insektenpopulation (Hymenoptera: Apidae) auf dem Rasen-Ökosystem der Bugacer Sandheide. *Folia entomologica hungarica* 43, 179-190.
- Tanács, L., Józán, Z. (1985): The Apoidea (Hymenoptera) fauna of the Kiskunság National Park. In: Mahunka (szerk.): *The Fauna of the Kiskunság National Park, I.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 401-425.
- Torma, A., Bozsó, M., Gallé, R. (2009): Határok és átmenetek hatása az ízeltlábú együttesek mintázatára a Kiskunság természetközeli élőhelyein. In: Gallé, L.(szerk): *Entomológia: kutatás, szemléletformálás, ismeretterjesztés.* SZTE, Szeged, 136-155.

