

Homokpusztagyeppek klímaváltozással kapcsolatos differenciációja egy szemiariditási gradiens mentén

BARTHA SÁNDOR¹, CAMPETELLA GIANDIEGO², KERTÉSZ MIKLÓS, KRÖEL-DULAY GYÖRGY,
RÉDEI TAMÁS, VIRÁGH KLÁRA, FEKETE GÁBOR ÉS KOVÁCS-LÁNG EDIT

Kivonat

Hazai homokpusztagyeppek fajkompozíciójának térbeli változatosságát vizsgáltuk többféle léptékben, az állományfoltoktól a tájig, három vizsgálati területen egy szemiariditási gradiens mentén. A vizsgálati területek klímájában jelenleg megmutatkozó térbeli különbségek megfeleltethetők az következő 20-30 évben a klímaváltozás során várható különbségeknek. Megállapítottuk, hogy Gönyűtől Fülöpháza irányában finom térléptékben a homokpusztagyeppek béta diverzitása, amely a szerkezeti sokféleség jellemzője, csökken, míg táji léptékben egy ellentétes trend tapasztalható, ott a béta diverzitás növekszik. A közeljövőben a klímaváltozással összefüggő szárazodás, ill. felerősödő klímatiszűrségek hatására ugyanez a tendencia várható időben is. A homokpusztagyeppek koordinátsága a jövőben valószínűleg csökkenni fog, a homoki táj növényzete a klímaváltozás hatására heterogénebbé, mozaikosabbá válik. A növényzeti változások általunk előrejelzett iránya és jellege megfelel a degradáció során megfigyelhető trendeknek.

Bevezetés

Az ökológiai rendszerek szerkezeti sokfélesége a biológiai diverzitás egy eddig kevésbé kutatott aspektusa, amely feltehetően szorosán összefügg a társulás-állományok működési hatékonyságával, valamint adaptációs és regenerációs képességével (WALKER és mtsai 1981, GUNDERSON és PRITCHARD 2002).

A szerkezeti sokféleség mérésére az ún. béta diverzitási mértékek használatosak. Az egyes növényzeti típusok, ill. ezen belül az egyes növényzeti szerveződési állapotok béta diverzitása igen sokféle lehet. A béta diverzitás változhat a tengerszint feletti magassággal (SANG 2009), és változhat a szukcesszió (HOGEWEG és mtsai 1985, DEL MORAL 2007) és a degradáció (CHANETON és mtsai 2002, KÉFI és mtsai 2007) során. A béta diverzitás ezért érzékeny indikátora lehet a klímaváltozás vagy a tájhasználati változások növényzetre gyakorolt hatásainak (BESTELMEYER és mtsai 2006, KÉFI és mtsai 2007).

A évelő nyílt homokpusztagyep a Kárpát-medence természetes erdőssztyepp növényzetének jellegzetes tagja (FEKETE 1992). Ez a vegetácótípus különösen érzékenyen reagál a klímaváltozásra (KOVÁCS-LÁNG és mtsai 2008). Régiókban a klímaváltozási forgatókönyvek a következő évtizedekben csökkenő csapadékkal, növekvő hőmérséklettel és gyakoribb szélsőséges időjárási eseményekkel számolnak (BARTOLY és mtsai 2007). Feltételezéseink szerint a 200 km hosszú Gönyű-Fülöpháza viszonylatban térben most megfigyelhető klímatiszűrségek megfeleltethetők a klíma következő 20-30 évre megjósolt változásának (BORHIDI 1993, KUN 2001).

KOVÁCS-LÁNG és mtsai (2000) egy korábbi vizsgálatban kimutatták, hogy a szemiariditási gradiens mentén a fajdiverzitás, a növényzeti borítás és az erdei fajok száma csökken, míg a

¹ sanyi@botanika.hu

² Department of Environmental Science, Botany and Ecology section, Camerino University, via Pontoni 5, 62032 Camerino, Italy.

homokpusztagyep specialisták fajszáma valamint a kontinentális és szubmediterrán egyéves fajok száma növekszik. A jelen munkában a fenti kutatást kiterjesztjük a vegetáció szerkezetváltozásaira.

Módszerek

A magyarországi erdős-sztyepp vegetációs övezetben egy szemiariditási gradiens három pontján: Gönyűn (47°43'N, 17°49'E), Csévharasztton (47°17'N, 19°24'E) és Fülöpházán (46°53'N, 19°23'E) dolgoztunk. A gradiens mentén az éves átlagos csapadék 565 mm és 535 mm között, az éves átlaghőmérséklet 10.07 °C és 10.33 °C között változik. Az átlagos jellemzők kis különbségei ellenére a vizsgálati területek klimatikus különbségei jelentősek. A különbségek azonban inkább az időjárási fluktuációkban, a különböző klíma-évek eloszlásában, például az aszályok gyakoriságában jelentkeznek. Fülöpháza klímája szélsőségesebb, szárazabb (aridabb), mint Gönyű klímája (KUN 2001, KOVÁCS-LÁNG és mtsai 2008).

Az egyes vizsgálati területeken belül 6-6 *Festucetum vaginatae* gyep állományt jelöltünk ki (rétegzett random elrendezésben) a gyepek táji léptékű sokféleségének a reprezentálására. Finom térléptékben transzsekt mintavételt (kör alakú 52 m hosszú, érintkező 5 × 5 cm-es egységekből álló növényzeti metszetet) alkalmaztunk. A transzsekteken belül mikrovadrátokban a növényfajok jelenlétét rögzítettük (BARTHA és mtsai 2011). A béta diverzitás becslésére többféle standard módszert használtunk (vö. Anderson és mtsai 2010): Whittaker $\beta_w = \gamma/\alpha$, ahol γ a vizsgált növényzeti folt teljes fajszáma és α a folton belüli mintavétei egységek átlagos fajszáma (Beta(1/0)); $\beta_{\text{Shannon}} = H_\gamma/H_\alpha$ ugyanennek a mértéknek a fajok gyakoriságait is figyelembe vevő változata (Beta (Shannon)). A fajkicserélődésen alapuló mértékek közül a faji jelenlét adatokra az 1-Sørensen index átlagát, a gyakoriság adatokra a Bray-Curtis index átlagát használtuk. A finom térléptékű béta diverzitás mérésére még felhasználható az állományfoltban megvalósuló fajkombinációk számának a becsült maximuma is (JUHÁSZ-NAGY és PODANI 1983). Táji léptékű béta diverzitás becslésére ebben az esetben a fajkombinációk maximális számának állományfoltok közötti relatív varianciáját használtuk. Az egyes indexeket a PRIMPRO (BARTHA és mtsai 1998) és a SYN-TAX 5.0 (PODANI 1993) programokkal számoltuk. Statisztikai vizsgálatokra egyutas ANOVA-t, Spearman rang korrelációt, Levene tesztet és LSD post-hoc tesztet használtunk (Statistica 7.0, StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA).

Eredmények

A növényzet béta diverzitása - mindkét általunk vizsgált skálán - szignifikánsan különbözött a szemiariditási gradiens egyes pontjain (**1. táblázat**). Durva táji léptékben a legnagyobb béta diverzitást Fülöpházán mértük. A társulás állományok belső szerkezeti sokféleségét jellemző finom térléptékű béta diverzitás fordított tendenciát mutatott. A legnagyobb finom térléptékű béta diverzitást Gönyűn, a legkisebbet Fülöpházán mértük. A különböző béta diverzitás indexekkel kapott eredmények hasonló mintázatot mutattak (**1. táblázat**). Az állományon belül megvalósult fajkombinációk száma is Gönyűn volt a legnagyobb, míg a fajkombinációk számának állományok közötti relatív varianciája itt volt a legkisebb (**1. ábra**). Finom térléptékben a fajkombinációk számának a vizsgálati helyszínek közötti különbsége (egyutas ANOVA, $F=8.844$, $p<0.003$), ill. a béta diverzitásnak az erősödő szemiariditás irányában való csökkenő trendje (Spearman rang korreláció -0.734 , $p<0.01$) egyaránt szignifikánsnak adódott (**1a. ábra**). Állományfoltok között, táji léptékben pedig a fajkombinációk számának a relative variancia (CV%) növekedése bizonyult szignifikánsnak Gönyűtől Fülöpháza irányban (Levene statisztika, $p<0.02$) (**1b. ábra**).

Beta-diverzitás mértékek	Átlag					Variancia					
	N	Gönyű	Csévharaszt	Fülöpháza	F	Egyutas ANOVA	Területek Spearman korreláció	Gönyű	Csévharaszt	Fülöpháza	Levene teszt (variancia homogenitás)
Finom felbontásnál (20 cm)											
Béta(1/0)	18	6.803a	6.230a	5.950a	0,501	0,616	-0,376	0,782	1,608	4,411	0,406
Béta(Shannon)	18	5.850a	3.399b	2.891b	20,496	0,000	-0.787(**)	0,412	1,169	0,618	0,276
Sorensen	18	0.607a	0.509b	0.438b	6,539	0,009	-0.669(**)	0,002	0,008	0,010	0,080
Bray-Curtis	18	0.676a	0.571ab	0.497b	4,187	0,036	-0.616(**)	0,002	0,012	0,020	0,079
Durva felbontásnál (állományok)											
Béta(1/0)	18	2.010a	2.208a	2.373a	1,050	0,374	0,236	0,067	0,087	0,413	0,051
Béta(Shannon)	18	1.505a	1.421a	3.014b	3,653	0,048	0,275	0.064a	0.209a	3.683b	0,000
Sorensen	45	0.327a	0.357a	0.484b	22,564	0,000	0.645(**)	0,003	0,003	0,009	0,145
Bray-Curtis	45	0.347a	0.368a	0.566b	21,911	0,000	0.595(**)	0.004a	0.002a	0.023b	0,000

1. táblázat. Béta diverzitás a szemiariditási gradiens mentén

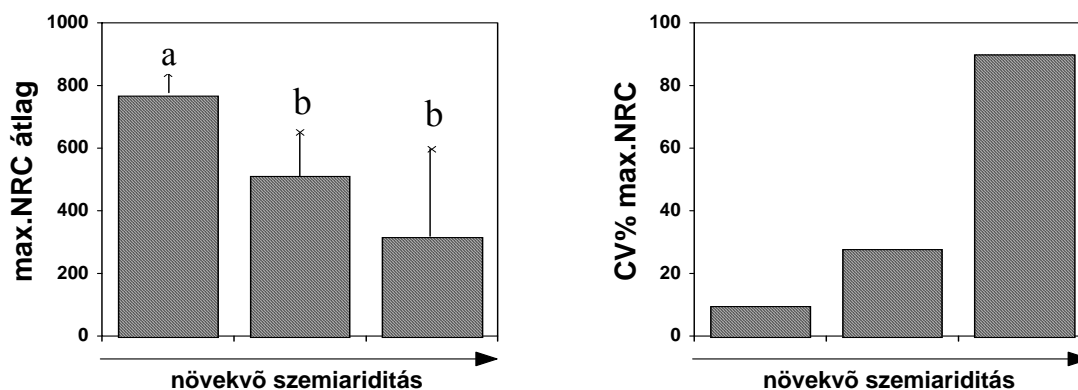
Gönyű n=6, Csévharaszt n=6, Fülöpháza n=6. Szignifikáns eltérések (kövér betűk) LSD teszttel vizsgálva.

Az átlagok után álló azonos betűk a nem-szignifikáns különbségeket jelölik.

A varianciák homogenitásának a tesztelésére Levene tesztet használtunk. A kövér betűk jelölik a szignifikáns értékeket.

Spearman korreláció a vizsgálati helyszínek (Gönyű=1, Csévharaszt=2, Fülöpháza=3) menti trend vizsgálatára.

A kövér betűk jelölik a szignifikáns értékeket $P < 0.05$ (*); $P < 0.01$ (**).



1. ábra. a) A béta diverzitás változása a szemiáriditási gradiens mentén (Gönyű, Csévharaszt és Fülöháza) finom térléptékben a megvalósult fajkombinációk számának maximumával mérve. Az oszlopok az átlagokat, a fölöttük lévő kis vonalak a szórást jelentik. Az oszlopok feletti különböző betűk szignifikáns eltérést jeleznek ($p < 0.05$).

b) A béta diverzitás állományfoltok közötti relative varianciája (CV%) a táji léptékű béta diverzitás jellemzésére.

Megvitatás

Eredményeink szerint a homokpuszták növényzete lényegesen eltérő módon szerveződik a vizsgált 200 km-es gradiens különböző pontjain, annak ellenére, hogy a gradiens mentén az átlagos klimatikus jellemzők csak kis mértékben változnak. Megállapítható, hogy a klíma kis mértékű jövőbeli változása is okozhat drasztikus változásokat a növényzet szerkezetében.

Fekete Gábor szerint a klímazonális növényzeti típusok az edafikusan meghatározottaknál koordináltabbak (azaz állományaik nagyobb pontossággal ismétlődnek) (FEKETE 1992). Fekete szerint a hazai klímazonális löszsytyepp állományok összetétele (textúrája) hasonlóbb, kevésbé variál, mint a megfelelő edafikus homoki gyepp állományok összetétele. A jelenlegi vizsgálatban megállapítottuk, hogy a homoki gyepek említett nagyobb szerkezeti variációja egy szemiáriditási gradiens mentén trendszerűen változik. Finom (állományon belüli) térléptékben a szerkezeti (béta-) diverzitás csökken, míg durvább (táji) léptékben a szerkezeti (béta-) diverzitás növekszik. Mivel a koordináltság az állományok közötti, durvább térléptékű variabilitásra vonatkozik, kijelenthetjük, hogy a homokpusztagyeppek koordináltsága a jövőben valószínűleg csökkenni fog, a homoki táj növényzete a klímaváltozás hatására heterogénebbé, mozaikosabbá válik.

A béta diverzitás léptékfüggő megváltozása, ezen belül a finom térléptékben való csökkenés, ill. ezzel egyidejűleg a durvább térléptékben tapasztalható növekedés a degradációs folyamatokat jellemzi (BARTHA és mtsai 2004), míg a regenerációs folyamatok vizsgálói ezzel ellentétes trendeket írtak le (JUHÁSZ-NAGY és PODANI 1983, HOGEWEG és mtsai 1985, BARTHA 1991). Ezek a már ismert trendek lehetővé teszik, hogy az általunk tapasztalt eredmények dinamikai következményeit is átgondoljuk.

A növényzeti állományok a külső körülmények megváltozására belső szerkezetük, kompozíciójuk átrendeződésével válaszolhatnak. Nagyobb szerkezeti diverzitás többféle átrendeződési lehetőséget, a finom térléptékben megjelenő nagyobb diverzitás pedig gyorsabb, hatékonyabb válaszokat jelent. Tehát az ökológiai rendszerek szerkezeti diverzitása és stabilitása (rezilienciája) szorosan összefügg (MCNAUGHTON 1988, GUNDERSON és PRITCHARD 2002). Ezért a szerkezeti (béta) diverzitás felmérése, monitorozása fontos gyakorlati feladat. Egy korábbi időbeli monitorozási vizsgálatunkban a szemiáriditási

gradiens száraz végpontján (Fülöpházán) 5-ször nagyobb fluktuációt tapasztaltunk, mint egy másik, kevésbé száraz és nagyobb diverzitású állományban (Csévharaszton) (BARTHA és mtsai 2008). A gradiens mentén a szárazabb irányban a növényzet térbeli variációjának a jelenlegi vizsgálatban megfigyelt növekedése (a koordináltság csökkenése) előrevetíti, hogy a klímaváltozás hatására a homokpusztagyep stabilitása valószínűleg csökkenni fog.

Vizsgálataink alapján feltételezhető, hogy a homokpusztagyep társulások térbeli szerveződése és koordináltsága a klímaváltozás hatására a közeljövőben változni fog. A változás általunk most feltárt tendenciája a szerveződés mértékének csökkenése, a kevésbé hatékony működés, azaz a "szétesés" irányába mutat. Gyakorlati szempontból igen fontos kérdés, hogy az itt leírt differenciálódási folyamatok milyen hatással lesznek a természetközeli növényzet által nyújtott ökológiai szolgáltatásokra. Ezért a szerkezetvizsgálatokat a jövőben funkcionális ökológiai vizsgálatokkal kell bővíteni.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány a KISKUN Long Term Ecological Research Program része. Köszönjük Molnár Edit, Lhotsky Barbara, Hahn István, Bokros Szilárd, Aszalós Réka, Kun András, Ittész Péter, és Wylie Harris segítségét a terepi mintavétel során. Köszönjük, hogy a Kiskunsági Nemzeti Park és a Duna-Ipoly Nemzeti Park engedélyezte, hogy területükön kutatómunkát végezzünk. Munkánkat az OTKA K 72561 és T 21166 pályázatok támogatták.

Irodalom

- ANDERSON M.J., CRIST T.O., CHASE J.M., VELLEND M., INOUE B.D., FREESTONE A.L., SANDERS N.J., CORNELL H.V., COMITA L.S, DAVIES K.F., HARRISON S.P., NATHAN J. B. KRAFT N.J.B., JAMES C. STEGEN J.C. and SWENSON N.G. 2011: Navigating the multiple meanings of diversity: a roadmap for the practicing ecologist. *Ecology Letters* 14: 19-28.
- BARTHA S. 1991: *Diversity processes during revegetation on dumps from strip coal-mining*. Monograph Symposium "Biological Diversity", Madrid, 1989. pp. 180-181.
- BARTHA S., CZÁRÁN T., PODANI J. 1998: Exploring plant community dynamics in abstract coenostate spaces. *Abstracta Botanica* 22: 49-66.
- BARTHA S., CAMPETELLA G., CANULLO R., BÓDIS J., MUCINA L. 2004: On the importance of fine-scale spatial complexity in vegetation restoration. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences* 30: 101-116.
- BARTHA S., CAMPETELLA G., RUPRECHT E., KUN A., HÁZI J., HORVÁTH A., VIRÁGH K., MOLNÁR ZS. 2008: Will inter-annual variability in sand grassland communities increase with climate change? *Community Ecology* 9(Suppl): 13-21.
- BARTHA S., CAMPETELLA G., KERTÉSZ M., HAHN I. KRÖEL-DULAY Gy., RÉDEI T. KUN A, VIRÁGH K., FEKETE G., KOVÁCS-LÁNG E. 2011. Beta diversity and community differentiation in dry perennial sand grasslands. *Annali di Botanica* (in press)
- BARTHOLY J., PONGRÁCZ R., GELYBÓ GY. 2007: Regional climate change expected in Hungary for 2071-2100. *Applied Ecology and Environmental Research* 5: 1-17.
- BESTELMEYER B.T., BROWN J. R., HAVSTAD K. M., FREDRICKSON E. L. 2006: A holistic view of an arid ecosystem: a synthesis of research and its applications. In: HAVSTAD K., HUENNEKE L. F., SCHLESINGER W. H. (eds.), *Structure and Function of Chihuahuan Desert Ecosystem. The Jornada Basin Long-Term Ecological Research Site*. Oxford University Press, Oxford, pp. 236-245.
- BORHIDI A. 1993: Characteristics of the climate of the Danube-Tisza Mid-region. In: SZUJKÓ LACZA J., KOVÁTS D. (eds.), *The Flora of the Kiskunság National Park. In the Danube-*

- Tisza Mid-Region of Hungary* (Vol. I. The flowering plants.). Budapest, Magyar Természettudományi Múzeum, pp. 9-20.
- CHANETON E. J., PERELMAN B., OMACINI M., LEÓN J. C. 2002: Grazing, environmental heterogeneity, and alien plant invasion in temperate Pampa grasslands. *Biological Invasions* 4: 7-24.
- DEL MORAL R. 2007: Limits to convergence of vegetation during early primary succession. *Journal of Vegetation Science* 18: 479-488.
- FEKETE G. 1992: The holistic view of succession reconsidered. *Coenoses* 7: 21-29.
- GUNDERSON L. H. and PRITCHARD JR. L. (eds.) 2002: *Resilience and the behaviour of large-scale systems*. Island Oress, Washington.
- HOGEWEG P., HESPER B., VAN SCHAİK C. P., BEEFTINK W. G. 1985: Patterns in vegetation succession, an ecomorphological study. In: WHITE J. (ed.): *The population structure of vegetation*. Dr. W. Junk Publ., Dordrecht, pp. 637-666.
- JUHÁSZ-NAGY P., PODANI J. 1983: Information theory methods for the study of spatial processes and succession. *Vegetatio* 51: 129-140.
- KÉFI S., RIETKERK M., ALADOS L. C., PUEYO Y., PAPANASTASIS V. P., ELAICH A., DE RUITER P. C., 2007: Spatial vegetation patterns and imminent desertification in Mediterranean arid ecosystems. *Nature* 449: 213-217.
- KOVÁCS-LÁNG E., BARTHA S., KRÖEL-DULAY GY., KERTÉSZ M., FEKETE G., MIKA J., RÉDEI T., RAJKAI K., HAHN I. 2000: Changes in the composition of sand grasslands along a climatic gradient in Hungary and implications for climate change. *Phytocoenologia* 30: 385-407.
- KOVÁCS-LÁNG E., MOLNÁR E., KRÖEL-DULAY GY., BARABÁS, S. (eds.) 2008: *The KISKUN LTER, Long-term ecological research in the Kiskunság, Hungary*. Vácrátót, Institute of Ecology and Botany, H.A.S.
- KUN A. 2001: Analysis of precipitation year types and their regional frequency distributions in the Danube-Tisza Mid-Region, Hungary. *Acta Botanica Hungarica* 43: 175-187.
- MCNAUGHTON S. J. 1988: Diversity and stability. *Nature* 333: 204-205.
- PODANI J. 1993: *SYN-TAXpc. Version 5.0. User's guide*. Scientia Publishing, Budapest.
- SANG W. 2009: Plant diversity patterns and their relationships with soil and climatic factors along an altitudinal gradient in the middle Tianshan Mountain area, Xinjiang, China. *Ecological Research* 24: 303-314.
- WALKER B.H., LUDWIG D., HOLLING C. S., PETERMAN R. M. 1981: Stability of semi-arid savanna grazing systems. *Journal of Ecology* 69: 473-498.