



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Homoki erdőssztyepp határzónáinak funkcionális szerveződése
a mikroklimatikus mintázatok és a domborzat alapján

Doktori (PhD) értekezés tézisei

DOI: 10.54598/001920

Süle Gabriella Erzsébet

Gödöllő

2022

A doktori iskola

megnevezése: Biológiai Tudományi Doktori Iskola

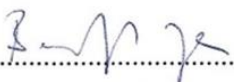
tudományága: Biológiai Tudomány

vezetője: Dr. Nagy Zoltán
Tanszékvezető egyetemi tanár, DSc
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,
Növénytermesztési-tudományok Intézet
Növényélettan és Növényökológia Tanszék

Témavezető: Dr. Körmöczy László
Egyetemi docens, PhD, Habil.
Szegedi Tudományegyetem,
Természettudományi és Informatikai Kar,
Ökológiai Tanszék

Társtémavezető: Dr. Balogh János
Egyetemi docens, PhD, Habil.
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,
Növénytermesztési-tudományok Intézet,
Növényélettan és Növényökológia Tanszék


.....
Az iskolavezető jóváhagyása


.....
A témavezető jóváhagyása

A MUNKA ELŐZMÉNYEI, CÉLKITŰZÉSEK

Korunk legjelentősebb problémái közé tartozik a globális klímaváltozás. A globális klímaváltozás különböző durva és finom léptékű változásokat foglal magába, amelyek közé tartozik a globális átlaghőmérséklet emelkedésén túl az extrém időjárási események gyakoriságának növekedése is. Megfigyelhetők olyan jelenségek Magyarországon, amik kapcsolatba hozhatók a globális klímaváltozással. A nyári időszakok egyre melegebbek, a téli lehülés viszont mérséklődő tendenciát mutat évről évre. Ebből a szárazodási tendenciából arra lehet következtetni, hogy az egész Kárpát-medence régióban jelentős átalakulások fognak bekövetkezni az élőhelyek szerkezetében és működésében, így a változás nagy hatással lesz a természetes flórára és faunára. Mivel Magyarországon az Alföld területe klimatikusan érzékenynek tekinthető, ezért növényközösségei már kismértékű klímaváltozásra is gyors és látványos közösségi szintű változáson eshetnek át. Ezek a változások különböző vegetációmozaik-határzónákban figyelhetők meg legkönnyebben, mert ezek a területek érzékenyek lehetnek a környezeti paraméterek megváltozására. A globálisan bekövetkező változások hatással vannak a makroklímára, így más paraméterekkel együtt (talajviszonyok, domborzat, stb.) befolyásolja a mikroklímát, ami fontos szerepet tölt be az élőhelyek finomszerkezetének kialakításában. Ennélfogva a globális klímaváltozásnak jelentős szerepe van az élőhelyek szerkezetének alakításában, és emiatt nagy jelentősége van az ökoszisztémák műszeres mérésekkel történő vizsgálatának, különös tekintettel a mikroklíma méréseknek. A különböző jellegekkel rendelkező élőhelyek eltérő módon reagálhatnak az érzékenysüktől függően ezekre a hatásokra. Érzékeny élőhelyek lehetnek az átmeneti zónák, például az erdőssztyeppek, melyek jelentőségére már régóta felfigyeltek. Éppen ezért a vegetáció-határzónákban kialakuló mikroklimatikus viszonyok a globális klímaváltozás következtében kialakuló változások hatásának modellezésére alkalmazhatók. A mikroklimatikus dinamikák tanulmányozásával populáció szintű, közösség szintű és ökoszisztéma

szintű folyamatokat érthetünk meg. Emellett a Magyarországon található homoki erdőssztyepp vegetáció, amely esetében a fragmentált struktúra természetes eredetű, a közeljövőben teljesen átalakulhat a Kárpát-medencében megfigyelhető szárazodási tendenciák miatt. Ezért fontos ezzel az ökoszisztémával kapcsolatos ismereteink bővítése, ezáltal pedig az abiotikus és biotikus tényezők dinamikájának megértése az átmeneti zónákban.

A kutatás célkitűzései

Doktori kutatásaim során a fent említett tényezők okán a hangsúlyt a homoki erdőssztyepp vegetáció vizsgálatára helyezve, munkám során az alábbi kérdésekre kerestem a választ:

1. Hogyan változik a facsoport mikroklímamódosító hatása a szegélyektől a gyeppel felé égtájként? Ezzel összefüggésben hogyan változik a mikroklíma térbeli mintázata fenológiai stádiumonként? Találhatók-e a homogénnek tűnő gyepterületeken különböző foltok fajkészlet és ökológiai igény alapján, ami összefüggésben van a facsoport mikroklímamódosító hatásával?
2. Használható-e a tartamgörbe vizsgálati módszer növényökológiai kutatásokban?
3. Melyek a talajlégzés fő befolyásoló paraméterei egy olyan ökoszisztémában, amely nagyon heterogén térbeli vegetációs szerkezettel rendelkezik? Van-e jelentős különbség a facsoport alatti és a nyílt területek talajlégzése és szervesanyag-tartalma, valamint az azokat befolyásoló paraméterek között? Megfigyelhető-e különbség fenológiai stádiumonként a funkcionális válaszokban?
4. Vannak-e olyan domborzati attribútumok, amelyek befolyásoló erővel rendelkeznek erdőssztyepp élőhelyeken?
5. Megfigyelhető-e kovariancia a domborzati attribútumok és a facsoport árnyékoló hatása között? Erősebb-e a domborzat befolyásoló ereje, mint a facsoport mikroklímamódosító hatása?

ANYAG ÉS MÓDSZER

Mintavételi területek és időszakok

Vizsgálati helyeink a Duna-Tisza közén, a Kiskunsági Nemzeti Park Fülöpházi buckavidék területi egységében helyezkedtek el. Ennek a területi egységnek a 10 éves (2010-2020) évi átlaghőmérséklete 11,5 °C és éves csapadékösszege átlagosan 622,17 mm (Országos Meteorológiai Szolgálat, Fülöpháza Meteorológiai Állomás). Két fehér nyár (*Populus alba* L.) facsoportban és a környező gyepterületeken zajlottak a vizsgálatok 2018-2020 időszakban (1. táblázat): első facsoport (46°53'28.18" N., 19°24'46.91" E., 107 m tszf. magasság) és a második facsoport (46°53'06.11" N., 19°24'29.17" E., 106 m tszf. magasság).

1. táblázat: Mérési időszakok

	Év	2018	2019	2020
Mérés	Időszakok	tavaszi (2018. 05. 24-25.), nyári (2018. 07. 12-14.), ősz (2018. 10. 08-10.)	nyári (2019. 06. 27-29.), ősz (2019. 09. 30.-10-02.)	tavaszi (2020. 06. 03-05.), nyári (2020. 07. 21-24.), ősz (2020. 09. 30.-10-02.)
	Mintavételi pontok	89 db	61 db	61 db
Mintavételi hely	Helyszín	első facsoport	második facsoport	első facsoport
	Facsoport átlagos átmérője	15 m	26 m	15 m
Szelvények	Mennyisége	4 db	2 db	2 db
	Hossza	44 m	60 m	60 m
	Égtáji irány	É-D, ÉK-DNY, K-NY, DK-ÉNY	É-D, K-NY	É-D, K-NY
	Mintavételi pontok közötti maximális magasságkülönbség	4,72 m	2,63 m	5,51 m

A környezeti és funkcionális változók mérése különböző égtáji irányú keresztveződő szelvényekben zajlott, amelyek mentén 2 méterenként helyezkedtek el a mintavételi pontok. Csillag és kereszt alakú mintavételi elrendezést alkalmaztunk, melyek közepén helyezkedett el a facsoport.

Mikroklíma mérése

Minden mérési kampány során a szelvények mentén 2 méterenként 48 órán keresztül (1 perces felbontással) léghőmérsékletet és légnedvességet mértünk szenzorhálózattal a gyepszintben. A mérőműszereket 20 centiméterrel a talaj felszíne felett, a lágyszárú növényzet átlagos magasságában helyeztük el. A mikroklímaméréshez Crossbow MICA XM2110CA mote (Crossbow Technology Inc., Milpitas, CA, USA), Voltcraft DL-120TH USB hőmérséklet-páratartalom logger (Voltcraft, Hirschau, Bajorország, Németország) és UNI-T UT330B Mini USB hőmérséklet-páratartalom logger (UNI-TREND Technology CO Ltd., Guangdong, Kína) mérőműszereket használtunk. A műszereket fehér műanyag pohárral árnyékkoltuk, hogy elkerüljük a napsugárzás általi túlmelegedést. A műszereket a mérések előtt kalibráltuk.

Talajparaméterek, funkcionális változók és GPS mérések

A talajparaméterek (ts, SWC), funkcionális változók (Rs, LAI, SOC) és GPS méréseket a szelvények mentén 2 méterenként, a mikroklímamérők pozíciójánál végeztük. A következő műszerekkel a méréseket minden mérési kampányban 11-13 óra között végeztük.

Talajlégzés (Rs) és a talajhőmérséklet (ts): EGM-4 infravörös gázanalizátorral (PPSystems, UK) mértük.

Talajnedvesség (SWC): FieldScout TDR 300 (FieldScout, USA) műszer 7,62 cm-es (3.0 inch) tűskéjével mértük.

Levélfelület-index (LAI): ACCUPAR LP-80 ceptométerrel (METER Group, USA) mértük.

Talajminta szervesanyag-tartalom (SOC): minden mérési évben ömlesztett talajmintákat vettünk a talaj felső 10 cm-ből. A szervesanyag-tartalmat szulfokróm oxidációval/ gyulladásveszteséggel határoztattuk meg.

Koordináták és tengerszint felletti magasság: nagy pontosságú STONEX S8 PLUS GPS (STONEX Srl., Paderno Dugnano, Olaszország) műszerrel rögzítettük.

Cönológia

A szelvények mentén minden mérési kampányban 0,5 m × 0,5 m-es oldalhosszúságú érintkező kvadrátokban cönológiai felvételezést (százalékos borításbecslés) végeztünk a műszeres mérésekkel párhuzamosan. A növényfajokhoz hozzárendeltük az indikátorértéküket (Zólyomi-féle ökológiai indikátor értékek: TZ-érték (hőigény) és WZ-érték (nedvesség igény)).

Meteorológiai változók

Az Országos Meteorológiai Szolgálat, Fülöpháza Meteorológiai Állomás napi átlaghőmérséklet, napi csapadékösszeg és napi átlagglobálsugárzás meteorológiai változók adatait rendelkezésünkre bocsájtotta a 2018. május és 2020. október közötti vizsgálati időszakra.

Számítások

Telítési hiány számítása

A telítési hiányt (VPD) a relatív légnedvesség (RH) és a léghőmérséklet (t) alapján számítottuk ki a BOLTON által kidolgozott egyenlet szerint:

$$VPD = (100 - RH) \times 6.112 \times e^{(17.67 \times t / (t + 234.5))} \quad (\text{egyenlet 1})$$

ahol t -t °C-ban, RH -t %-ban és VPD -t Pa-ban adjuk meg.

Tartamgörbe vizsgálati módszer

Vizsgálatunk elsősorban a VPD-ből készített tartamgörbére összpontosított, amelyet 24 órás, percenkénti mikroklíma mérésekből számítottunk ki. Az összes mérési pozíció esetében 12:00-12:00 közötti periódust vettünk figyelembe, mint egy 24 óra. Bármilyen változó tartamgörbéje úgy alakítható meg, hogy az összes adatot csökkenő sorrendbe rendezzük. Így a legmagasabb érték rangja 1, míg a legkisebbé n ($n =$ a mérések száma). A rendezett adatokat ábrázolva megkapjuk a tartamgörbét, ahol az X tengelyen a relatív sorrend (pl. százalék) tükrözi az Y tengely változójának egy adott értékéhez tartozó előfordulási arányát a vizsgált perióduson belül (pl. a telítési hiány egy mérési pozícióban). Ha a tartamgörbéhez megadunk a vizsgált változóhoz tartozó kritikus határértéket, akkor leolvasható, hogy az adott határértéket a vizsgált periódus alatt a változó értékeinek hány százaléka lépte túl, ez a túllépési arány.

Digitális domborzatmodell (DEM) készítése és domborzati attribútumok számítása

A mért magassági adatokból a felszín jellemzésére négy domborzati attribútumot számítottunk ki.

A magasság szórását (SD) az alábbi képlettel számítottuk ki:

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n_R - 1} \sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2}, \quad (\text{egyenlet 2})$$

, ahol z_i érték a megfelelő R konvolúciós mátrix vizsgált pixelének magassága, míg \bar{z} az átlagos magasság R mátrixban. SD megadja a raszteren belüli heterogenitást, a domborzati felszín lokális egyenetlenségét.

A lejtés (Sl) és a kitettségből származtatott keletiesség (East) és északiasság (North) számítása:

- Lejtés (Sl): megadja a pozíciók közötti magasságváltozás mértékét (függőleges „emelkedés”/vízszintes „lefutás”).
- Keletiesség és északiasság (East, North): a kitettség az az égtáji irányultság, amerre egy lejtő néz. Az északiasság és a keletiesség +1 közeli értékei

általánosságban északi és keleti irányú lejtőt, míg a -1 közeli értékek általánosságban déli és nyugati irányú lejtőt jelentenek.

Adatfeldolgozás és statisztikai értékelés

A statisztikai értékelést az R statisztikai adatelemző programmal végeztük:

24 órás VPD kvantilisokból PCA ordinációkat és tartamgörbéket készítettünk.

Az összes vizsgált változót standardizáltuk és ezekből a komplex kapcsolatok feltárásához főkomponens-analízist hajtottunk végre (PCA biplot). A változók egyszerűbb kapcsolatainak szemléltetéséhez regresszióelemzést is végeztünk, ahol az adatokat log-transzformáltuk is.

A talajlégzés komponenseinek arányára is kíváncsiak voltunk, ezért az LAI-Rs között lineáris regressziót alkalmaztunk mérési kampányonként, melyeknél meghatároztuk az Y tengely metszéspontját (ahol a LAI elméletileg 0). A metszéspontokat az Rhet átlagnak tekintettük. Ezután kiszámoltuk az Raut arányt:

$$Raut = Rs - Rhet \quad \text{(egyenlet 3)}$$

, ahol *Raut* az autotróf talajlégzés, *Rs* a teljes talajlégzés, *Rhet* pedig a heterotróf talajlégzés.

A tengerszint felletti magasság és egyéb térbeli adatokat spline interpolációval ábrázoltuk. A GPS adatokból a számítások fejezetben részletezett módon domborzati attribútumokat számítottunk és elemeztünk. A domborzati attribútumok, a SOC és a PCA biplotok tengelyei között Spearman korrelációs koefficiens számoltunk.

EREDMÉNYEK ÉS AZOK MEGBESZÉLÉSE

Meteorológiai változók (Országos Meteorológiai Szolgálat, Fülöpháza Meteorológiai Állomás)

A három év közül 2018 volt a legmelegebb és legszárazabb: az átlaghőmérséklet 19,20 °C, a csapadékösszeg 295,20 mm volt. Ehhez képest 2019-ben az átlaghőmérséklet 18,46 °C, a csapadékösszeg 351,30 mm, míg 2020-ban az átlaghőmérséklet 18,02 °C, a csapadékösszeg 360,60 mm volt. A 2020 őszi mérési kampány során leesett 0,2 mm eső és borult idő volt, mely következtében a globálsugárzás értéke nagyon alacsony volt ($35,28 \text{ W m}^{-2}$) a többi mérési kampányhoz képest. A mérési napok közül 2020 nyarán volt a legmagasabb a léghőmérséklet átlag ($22,27 \text{ °C}$), míg a legmagasabb globálsugárzás átlag ($301,32 \text{ W m}^{-2}$) 2018 nyarán volt.

A vizsgált változók és a vegetációszerkezet közötti összefüggések

A változók közötti kapcsolatok elemzéséhez PCA biplotokat használtunk. A facsoport alatti pontok általában a PCA I tengely mentén pozitív irányban helyezkedtek el, míg a gyepi pontok általában negatív irányban. 2020 őszi mérési kampány során megváltozott a mintavételi pontok eloszlásának orientációja a PCA térben, így a két vegetációtípus pontjai ellentétes irányban helyezkedtek el a PCA I tengely mentén a többi mérési kampányhoz viszonyítva. A facsoportok alatti mérési pontok jelentősen elkülönültek a környező gyepi pontoktól. Az R_s pozitív kapcsolatot mutatott az SWC-vel és a LAI-val, míg negatív kapcsolatot a t_s -sel és a VPD-vel. Az R_s -SWC-LAI súlyok korreláltak pozitívan a facsoportok alatti mérési pontokból származó új PCA-értékek eloszlásával, míg a gyepterületek pontjainak eloszlása a t_s -VPD súlyokat követte. A lombkorona alatti területen magasabb volt az R_s és a LAI, alacsonyabb a VPD és a t_s . Ezzel szemben a gyepes magasabb t_s és VPD, valamint alacsonyabb R_s és LAI értékekkel rendelkeztek. Ezek a paraméterek jól jelzik a vizsgálati helyszínen

belüli funkcionális különbségeket, főként a facsoport és az azt körülvevő gyepterület között. De az eltérő égtáji irányultságú gyepterületek között is megfigyelhetők különbségek a funkció tekintetében. A facsoport árnyékoló hatása különbségeket hozott létre a funkcióban is a facsoportot körülvevő jobban árnyékolt (NY-ÉK) és kevésbé árnyékolt (K-DNY) gyepterületei között.

Az összes mérési kampány értékeit regresszióelemzéssel vizsgálva a talajlégzés szignifikáns pozitív összefüggést mutatott a talajnedvességgel ($P < 0,001$, $R^2 = 0,13$) és a levélfelület-indexszel ($P < 0,001$, $R^2 = 0,28$), valamint nem szignifikáns negatív összefüggést ($P = 0,059$, $R^2 = 0,004$) a talajhőmérséklettel. A levélfelület-index szignifikáns negatív korrelációt mutatott ($P < 0,001$, $R^2 = 0,08$) a telítési hiánnyal. Általában a talajlégzés a legalacsonyabb az őszi fenológiai stádiumban volt (min: $0,13 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 2018. ősz), míg a legmagasabb talajlégzés értékeket 2019 nyarán mértük a második facsoport esetében ($23,99 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), mely valamivel nedvesebb élőhely volt, mint az első facsoport. A legmagasabb SWC értéket (12,54 %) 2020 nyarán mértük. Ezen kívül a legtöbb magas SWC értéket (10-12 %) 2019 nyarán mértük, a legalacsonyabbat (3,53 %) pedig 2018. őszén, melyek összhangban voltak a R_s intenzitással. Ehhez kapcsolódva a legalacsonyabb t_s értéket ($13,2 \text{ }^\circ\text{C}$) szintén 2018 őszén mértük, míg a legmagasabb t_s érték ($42,3 \text{ }^\circ\text{C}$) 2018 nyarán került detektálásra. Ezen kívül 2018 nyarán mértük a gyepterületen a legalacsonyabb ($0 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) és facsoport alatt a legmagasabb ($5,98 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) LAI-t is. A legalacsonyabb VPD-t ($0,35 \text{ kPa}$) 2020 őszén mértük, a legmagasabbat pedig 2018 nyarán, melyek a rendkívül alacsony (2020 ősz) és igen magas (2018 nyár) globálsugárzásra vezethetők vissza. Jellegzetes csoportosulások figyelhetők meg a fenológiai stádiumok alapján, mely jól szemlélteti a mérési kampányok eltérő környezeti állapotait. A szórások nagy heterogenitása miatt log-transzformációt alkalmaztunk az adatokon, hogy eltüntessük a különbségeket, amelyeket a két különböző vegetációtípus (gyep vs. facsoport) okozott. A megfigyelt kapcsolatok a változók között érdemben nem változtak. A talajlégzés továbbra is szignifikáns pozitív összefüggést mutatott a

talajnedvességgel ($P < 0,001$, $R^2 = 0,13$) és a levélfelület-indexszel ($P < 0,001$, $R^2 = 0,22$), valamint nem szignifikáns negatív összefüggést ($P = 0,011$, $R^2 = 0,003$) a talajhőmérséklettel. A levélfelület-index továbbra is szignifikáns negatív korrelációt mutatott ($P < 0,001$, $R^2 = 0,02$) a telítési hiánnyal.

A talajlégzés komponenseinek aránya

Az egy éven belüli mérési kampányok eredményei között szezonális különbséget találtunk, ugyanis a tavaszi és nyári fenológiai stádiumok hasonlóak voltak egymáshoz, nyáron kissé magasabb autotróf komponenssel, míg ez az érték ősszel volt a legalacsonyabb. Az eredményeinkben mintavételi helyek szintjén is megfigyelhető különbség, mert a 2019-es év magasabb értékekkel rendelkezett, mint a másik két vizsgált időszak, mivel a második facsoport valamivel nedvesebb élőhely volt, mint az első. Az autotróf talajlégzés komponens aránya az összes mérési kampány alatt szorosan követte a LAI változását. Ez a kapcsolat a vegetációstruktúra ökoszisztéma funkciókra gyakorolt hatását jól mutatja.

A vizsgált változók, a talaj szervesanyag-tartalma és a domborzati attribútumok közötti összefüggések

A PCA tengelyei a PCA ábrákon feltüntetett vizsgált változókat, valamint a vegetáció szerkezetet szemléltetik. Ezek és a domborzati attribútumok közötti kapcsolatot Spearman korrelációs koefficienssekkel mutatom be. A PCA I tengely a facsoportot szemlélteti, vagyis ha a változók közül valamelyik pozitív kapcsolatot mutatott a PCA I tengellyel, akkor az a facsoporttal állt kapcsolatban. Ha viszont negatív a kapcsolat, akkor a gyepi területtel mutatott pozitív összefüggést. 2020 őszi mérési kampány során megváltozott a mintavételi pontok eloszlásának orientációja a PCA térben.

A talaj szervesanyag-tartalma és a facsoportok természetvédelmi jelentősége

A talaj szervesanyag-tartalma erős pozitív korrelációt mutatott minden mérési kampány esetében a PCA I tengelyével, kivéve 2020 őszt, ahol erős negatív

korrelációt mutatott. Ez az erős pozitív kapcsolat azt mutatja, hogy a SOC térbeli mintázata követi a vegetációstruktúra térbeli megváltozását, mert a facsoport alatti terület magasabb széntartalommal rendelkezik, mint a gyepes terület. Tehát a fás vegetáció átalakulása valamilyen alacsony vegetációtípusra (pl. az erdősztyepp-mozaikok) fontos tényező lehet a szénciklus alakulásában. Már ilyen kis méretű facsoportok is jelentős szénraktárakkal rendelkeznek a homoki erdősztyepp élőhelyen, melyeknek jelentős szerepe lehet a szénciklusban.

A domborzati attribútumok hatása

A keletiesség szignifikáns negatív korrelációt mutatott a PCA I tengelyekkel (és ismét ennek ellenkezőjét 2020 őszén). Ez egybeesik a biplot elemzéssel, ahol a „melegebb” gyepi pontok a ts-VPD PCA súlyokat követték, tehát a keleties gyepi pontok melegebbek. Az SI és SD negatív korrelációt mutatott a PCA II tengelyekkel a 2018-as tavasszal. Ebből arra lehet következtetni, hogy nagyobb talajlégzés és talajnedvesség értékeket kisebb magasságkülönbségeknél mértünk enyhe lejtés mellett. Mivel az Rs és SWC a facsoporttal mutatott összefüggést, ezért a domborzati felszín heterogenitása alacsonyabb volt a facsoport alatt. A 2019-es vizsgálati helyszínen az északiasság negatív korrelációt mutatott a PCA I tengellyel, míg SI és SD tavasszal negatív korrelációt mutatott a PCA I tengellyel, ősszel pedig pozitív korrelációt a PCA II tengellyel. Ezek nagyobb ts-VPD értékekre utalnak déli irányban, valamint nagyobb Rs és LAI értékekre ott, ahol a domborzati felszín kevésbé heterogén vagyis többek között a facsoport alatti területen.

Kovariancia a domborzati attribútumok és a facsoport árnyékoló hatása között

Kimutatható a szervesanyag-tartalom és talajlégzés-aktivitás beli dominancia a facsoport alatt, mely visszavezethető a domborzati viszonyokra és a facsoport vegetációstruktúrájának mikroklíma-módosító hatására is, tehát megfigyelhető a domborzat és a facsoport befolyásoló hatásának kovariálása. A domborzat és az árnyékolás együttes hatását mutattuk ki, ugyanis a domborzat befolyásoló erejét

elfedték az erdősztyepp struktúrához kötődő árnyékoló hatást. Viszont a domborzat befolyásoló erejének mértéke változhat az eltérő elhelyezkedésű és vegetációstruktúrájú facsoportok között, valamint eltérően detektálható kissé különböző mintavételi elrendezés és mintavételi lépték hatására is. A domborzat és az árnyékolás térbeli változékonyságot hozott létre az ökoszisztéma funkcionális válaszaiban, de az esős időjárás és szezonális változatosság is erős hatótényezők ezekre a paraméterekre.

A telítési hiány és a vegetációszerkezet közötti összefüggések

A VPD kvantilisokból készült PCA ordinációkon a facsoport alatti területek általában elváltak a gyepi részekről, de ez nem minden mérési kampányban igaz, ugyanis a szegélyterületek átmenetet képeznek. A hideg-meleg területek általában nem váltak el egymástól, de csoportosultak. A VPD esetében kevésbé tiszták a területek elhatárolódásai, mint az összes változót együtt ábrázolva, mert a VPD kvantilisok egy egész 24 órára vonatkoztak és tartalmazták az éjszakát. 2020 ősszel a mérés során alacsony volt a globálsugárzás, de a lombkoronával borított és nyílt területek között nem figyelhető meg összemosódás.

Tartamgörbék összehasonlítása

Az irodalom szerinti stresszküszöb (1,2 kPa) tekintetében a nyári (52-60%) túllépési arány jelentősen eltért a tavasztól (29-41%) és az ősztől (22-36%). A facsoport közepén mért értékek eloszlása nem mutatott szezonális különbséget, mert a VPD maximális értékeiben nincs jelentős különbség. A tavaszi és nyári méréseknél a szelvények gyepi végének és a szegélyeknek a maximum értéke 8-11 kPa, a facsoport közepe esetében 3-5 kPa tartományban volt. 2,5 kPa felett minden szelvényben növekedni kezdett a túllépési arányok variabilitása, ezért a túllépést 3,0 kPa-nál is megvizsgáltuk. A 3,0 kPa feletti túllépési arány tavasszal 12-22% között, nyáron 26-48% között, ősszel pedig 7-22% között mozgott. A nyári mérési kampány gyepen mért telítési hiány értékei jóval meghaladták a

többi mérési pozíció értékeit, mert több mint 50%-os túllépési arányt mutattak 3,0 kPa fölött, míg a többié csak 32% alatt volt.

VPD túllépési arányok

2018-as év mérési kampányainak túllépési arányai szelvénymenti elemzésben

A tartamgörbék segítségével megkaptam a túllépési arányokat. A három mérési kampány mindegyikében az értékek legalább 30%-a meghaladta az 1,2 kPa küszöbértéket. A VPD 1,2 kPa küszöbértéknél is szezonális változékonyságot mutatott: a tavasz és az ősz nem különbözött jelentősen egymástól (30-38%), de nyáron (51-56%) jóval magasabb volt a túllépési arány. Az egész mintavételi területen a túllépési arány kiegyensúlyozott volt. Nem volt jelentősen alacsonyabb a túllépési arány a lombkorona alatti területen, mint a gyepi területen, de a túllépési arány a nyílt területeken sem váltakozott szembetűnően. A túllépési arány küszöbértékének 3,0 kPa-t választva a túllépési arány tavasszal 8-22% között, nyáron 18-48% között, ősszel pedig 0-28% között mozgott. A 3,0 kPa feletti túllépési arányok erősebb különbséget mutattak a facsoport alatti és a gyepi területek között, valamint az egyes gyepterületek között is, főként az egymással ellentétes szegélyterületek és ellentétes szelvényvégek között. A szegélyekben a melegebb oldalon az értékek magasabbak voltak egy hirtelen növekedéssel a nyílt terület irányába. Azonban a szelvény hidegebb oldalán, a facsoport árnyékoló hatásával összhangban nem figyelhető meg a szegélyekben a VPD hirtelen megnövekedése, hanem a facsoporttól való távolsággal fokozatosan növekedett a VPD aránya a nyílt terület felé. Tehát hidegebb-melegebb gyepterületek különíthetők el a vizsgálati területen belül.

2018-as év mérési kampányainak szegély és szelvényvégi mintavételi pontjainak túllépési arányai

A területek között megfigyelhető hidegebb-melegebb ellentét miatt külön elemeztem a szegély és gyepet reprezentáló szelvényvégi mintavételi pontok

túllépési arányait. 1,2 kPa küszöbérték esetében a VPD túllépési arányok jelentősen nem tértek el a különböző égtáji irányú szegélyterületek és gyepi területek között sem. 1,2 kPa küszöbértéknél a szegélyekben enyhe növekvő tendencia volt megfigyelhető nyugatról délkeletre, amelyet csökkenő tendencia követett délkeletről nyugatra. A VPD-értékek 3,0 kPa küszöbértéket meghaladó túllépési arányai esetében a szegélyekben eltérő tendencia volt megfigyelhető. A nyugati, északnyugati, északi és északkeleti szegélyben a túllépési arány 3,0 kPa küszöbérték esetében jelentősen alacsonyabb volt, mint a többi szegélyterületen. Ősszel a túllépési arány az északi szegélyben 0% közeli volt, míg északkelet esetében ténylegesen 0%. Ez alapján megállapítható, hogy hidegebb-melegebb szegélyterületek különíthetők el. A gyepi szelvényvégek nem követtek egységes tendenciát egyik küszöbértéknél sem.

2018-as év mérési kampányainak túllépési arányai térbeli elemzésben

A 2018-as mérési év négy szelvénye megfelelő mértékű lefedettséget biztosított, hogy térbeli interpolációs ábrát lehessen készíteni az egész mintavételi területre. Térábrán az 1,2 kPa küszöbérték esetében szembetűnő az egész mintavételi területen a túllépési arány kiegyensúlyozottsága. 3,0 kPa küszöbérték esetében az időjárási viszonyoktól és évszaktól függően a túllépési arány térbeli mintázata változott. A magas VPD túllépési arányok jelezték a folyamatosan erős stresszes körülményekkel rendelkező területeket. A lombkorona alatti mintavételi pontok értékei alacsonyabbak voltak, de a szegélyek és a környező gyepterület értékei váltakoztak. Tavasszal csak kis különbség volt megfigyelhető a facsoport különböző oldalán található nyílt területek között, mely jól mutatja az időjárás befolyásoló erejét, ugyanis kicsit felhős idő volt. Nyáron és ősszel a méréseket derült ég alatt végeztük. Nyáron a facsoport szemközti gyepterületei szinkronban voltak, az északkeleti és délnyugati alacsonyabb, délkeleti és északnyugati pedig magasabb értékekkel rendelkezett. Ősszel a melegebb (K-DNY) és a hidegebb (NY-ÉK) zónák kibővültek, és éles volt az átmenet a két különböző mikroklimatikus zóna között. Ősszel a melegebb gyepoldal a K-DNY volt, míg

NY-ÉK jelentősen hidegebb volt. Mindkét mérési kampány során a keleti és a délkeleti nyílt területeken volt a legmagasabb a VPD túllépési aránya. Ez alapján elmondható, hogy a facsoport mikroklímamódosító hatása nem csökkent fokozatosan minden égtáj irányában a szegélytől való távolság növekedésével. Figyelembe véve az általunk vizsgált facsoport kis méretét, ez a hatás erősnek bizonyult.

A mikroklimatikus viszonyok és a gyepszínti vegetáció kapcsolata

A növényfajok térbeli mintázata és a facsoportok természetvédelmi jelentősége

A térbeli ábrák mintázatai alapján elkülöníthető melegebb és hidegebb területek hatása a gyepszínti vegetáció fajösszetételén és fajeloszlásán is megfigyelhető. A szelvények mentén öt jellegzetes térbeli fajcsoportosulás volt megfigyelhető mindhárom mérési kampány cönológiai adatain. Az A csoport olyan fajokból állt, melyek a gyepekben és a facsoport alatt egyaránt előfordultak a szelvény mentén. A magyar csenkesz (*Festuca vaginata* Waldst. et Kit. ex Willd.) a domináns fűfaja a *Festucetum vaginatae Rapaics ex Soó* társulásnak, ami az A csoportot alkotó fajok között mindig megtalálható volt. B csoportot alkották azok a fajok, melyek a facsoport mindkét oldalán megtalálhatók voltak. A B csoportban mindig találhatunk kriptogámokat és szárazgyepi fűfajokat is. Ezen kívül három jellegzetes fajcsoport alakult ki: a facsoport egyik oldalán lévő gyepterületen előforduló fajok (C), a facsoport másik oldalán lévő gyepterületen előforduló fajok (D) és főként vagy kizárólag a facsoport alatt előforduló fajok (E). A facsoport alatti növényfajok magasabb nedvesség-igénnyel és alacsonyabb hőmérséklet-igénnyel rendelkeztek a gyepeken található fajokhoz képest. Másrészt volt különbség a két ellentétes gypoldalán csoportosuló fajok között is. A C csoport alacsonyabb nedvesség-igénnyel és magasabb hőmérséklet-igénnyel rendelkeztek, mint a D csoport fajai. A növényfajok ilyen terület szerinti eloszlása jelzi a megváltozott környezeti feltételeket még egy ilyen kis méretű facsoport alatt is. Esetünkben a facsoport árnyékoló hatása jelentős befolyásoló erővel bírt,

mely hatás a környező gyepen is megfigyelhető volt. A fajok terület szerinti, nedvesség- és hőmérséklet-igény szerinti csoportosulása jól jelzi a vizsgálati terület mikroklimatikus különbségeit, melyből adódóan ez a látszólag homogén gyepterület igencsak heterogén a légyszárú vegetáció szempontjából is. A homoki erdőssztyepp kis erdőfoltjainak és facsoportjainak természetvédelmi szerepét a megőrzési és helyreállítási projektek során általában nem veszik teljes mértékben figyelembe. Mivel már egy ilyen kis vizsgálati objektum esetében is a növényfajok jelentősen eltérő ökológiai igényekkel rendelkeznek a fás vegetáció alatt és annak árnyékosabb oldalán, így a további szárazodás során valószínűleg ezek a kis facsoportok refúgiumként működhetnek a nedvességigényesebb és kevésbé szárazságtoleráns fajok számára, így az éghajlatváltozás negatív hatásainak mérséklésében fontos jelentőséggel bírhatnak.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

I. Vizsgálatainkkal bizonyítottuk, hogy homoki erdőssztyepp vegetáció esetében a telítési hiány érzékeny indikátora a növényzetre hatással lévő környezeti feltételeknek. A facsoport és a gyepes terület mikroklimatikus különbségeit, valamint az egyes gyepterületek közötti különbségeket is remekül szemlélteti.

II. Sikeresen alkalmaztuk elsőként a tartamgörbe vizsgálati módszert mikroklimatikus adatok elemzésére. Így ígéretes eszköznek bizonyul növényökológiai vizsgálatok során mért léghőmérséklet, légnedvesség vagy telítési hiány adatok elemzéséhez. Eredményeink alapján bebizonyítottuk, hogy az 1,2 kPa telítési hiány irodalmi küszöbértéken kívül ezen vegetációtípusban a 3,0 kPa telítési hiány küszöbérték is fontos határértékként alkalmazható. A telítési hiány tartamgörbék informatívak voltak tér-idő mintázati elemzésekben ezekkel a küszöbértékekkel, mivel a túllépési arányok képesek megmutatni a vegetáció stresszszintjeit. A magas VPD túllépési arányok képesek jelezni a folyamatosan erős stresszes körülményekkel rendelkező területeket.

III. Leírtuk a talajlégzés, a talajhőmérséklet, a talajnedvesség, a levélfelület-index, a telítési hiány, a talaj szervesanyag-tartalma, a domborzati attribútumok közti összefüggéseket homoki erdőssztyepp vegetáció esetében.

IV. Eredményeink alapján kimutattuk, hogy ezen élőhelyen a domborzati attribútumok (lejtés, kitettség, magasságkülönbségek) együtt a fás vegetáció fiziognómiájával befolyásolják a homoki erdőssztyepp élőhely abiotikus és biotikus tényezőit. A domborzat egyértelműen befolyásolja az ökoszisztéma működését és a talaj széntartalmának térbeli eloszlását, de méréseink alapján fontos tényezők a mérési pozíciók elhelyezkedése, a növényzet szerkezete, az időjárás és az évszakok közötti különbségek.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A tartamgörbe vizsgálati módszert mikroklimatikus adatok elemzésére használva növényökológiai vizsgálatok során pontosabb képet kaphatunk egy ökoszisztéma állapotáról, ezért javasoljuk a bevonását a megszokott adatelemzési módszerek közé. Az 1,2 kPa telítési hiány irodalmi küszöbértéken kívül ezen vegetációtípusban a 3,0 kPa telítési hiány küszöbérték nagyon informatív tér-idő mintázati elemzésekben. Érdeemes más vegetációtípus esetében is kísérletezni megfelelő küszöbértékek meghatározásához.

Eredményeink felhívják a figyelmet a finomléptékű mintavétel és elemzés fontosságára. Nemcsak átmeneti növényzet esetében, hanem egy látszólag homogén növényzetnél is a finomlépték alkalmazása feltárhatja a rejtett mintázatokat.

A globális klímaváltozás és a Kárpát-medence szárazodási folyamatai miatt az erdősültség mértéke valószínűleg csökkenni fog, így a homoki erdőssztyepp vegetáció átalakulhat és elveszítheti fás jellegét, így megnő a száraz, nyílt gyepterület aránya, mely jelentősen befolyásolhatja a szénkörforgalmat.

Domborzatilag és növényzetileg heterogén tájban ezeket a tényezőket a biogeokémiai modelleknek figyelembe kell venni, hogy pontos képet lehessen kapni a vizsgált területről. A vegetációszerkezeti adatok, a domborzati tényezők, a mérési pozíciók elhelyezkedése, az időjárás és az évszakok közötti különbségek fontos bemeneti paraméternek tekinthetők a modellek alkotásában.

Szükség van a homoki erdőssztyepp élőhelyek megőrzése során egy egységes természetvédelmi szemléletmód kialakítására: a gyeses és erdős területeket egy egységben kezelni. A fás vegetáció különböző kiterjedésű és kitettségű altípusait minden esetben ugyanolyan jelentőséggel kell kezelni. Homoki élőhelyrekonstrukciós projektek során a kis méretű fehér nyár facsoportoknak is kiemelt szerepet kellene biztosítani.

AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓS LISTA

Szakmai folyóiratban megjelent cikk:

1. SÜLE, GABRIELLA; FÓTI, SZILVIA; KÖRMÖCZI, LÁSZLÓ; PETRÁS, DÓRA; KARDOS, LEVENTE; BALOGH, JÁNOS (2021): Co-varying effects of vegetation structure and terrain attributes are responsible for soil respiration spatial patterns in a sandy forest–steppe transition zone. *WEB ECOLOGY*, 21:(2), 95-107. p.
2. GABRIELLA, SÜLE; JÁNOS, BALOGH; SZILVIA, FÓTI; BERNADETT, GECSE; LÁSZLÓ, KÖRMÖCZI (2020): Fine-Scale Microclimate Pattern in Forest-Steppe Habitat. *FORESTS*, 11:(10), Paper: 1078.

Konferencia kiadványban megjelent konferenciaközlemény (nemzetközi):

3. SÜLE, GABRIELLA; BALOGH, JÁNOS; GECSE, BERNADETT; FÓTI, SZILVIA; KÖRMÖCZI, LÁSZLÓ (2019): Környezeti tényezők, mikroklíma komponensek és növényzeti mintázat térbeli kapcsolata erdőssztyepp vegetációban. In: Szigyártó, I-L; Szikszai, A (szerk.) *XV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia*, Kolozsvár, Románia: Ábel Kiadó. 50-56. p.
4. SÜLE, G; KÖRMÖCZI, L (2017): Vegetáció foltmintázat és mikroklíma mintázat kapcsolata erdőssztyepp élőhelyen. In: Szigyártó, IL; Szikszai, A (szerk.) *XIII. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia*, Kolozsvár, Románia: Ábel Kiadó. 28-34. p.

Konferencia kiadványban megjelent absztrakt (nemzetközi):

5. SÜLE, G; BALOGH, J; FÓTI, SZ; GECSE, B; KÖRMÖCZI, L (2019): Spatial relationships of forest-steppe vegetation pattern, environmental and functional variables. In: Rosario, G. Gavilán; Alba, Guitérrez-Girón, *28th EVS Meeting*:

Abstracts & Programme: Vegetation Diversity and Global Change, Madrid, Spanyolország: Universidad Complutense de Madrid (UCM). 104. p.

6. GABRIELLA, SÜLE; JÁNOS, BALOGH; LÁSZLÓ, KÖRMÖCZI (2018): Connections between the microclimate pattern and the vegetation structure in forest-steppe habitat. *GEOPHYSICAL RESEARCH ABSTRACTS*, 20 Paper: EGU2018-18976.

Konferencia kiadványban megjelent absztrakt (magyar):

7. SÜLE, GABRIELLA; BALOGH, JÁNOS; FÓTI, SZILVIA; PETRÁS, DÓRA; KÖRMÖCZI, LÁSZLÓ (2021): A mikroklimatikus viszonyok és a gyepszint térbeli mintázatának kapcsolata homoki erdőssztyepp élőhelyen. In: Tinya, Flóra (szerk.) *12. Magyar Ökológus Kongresszus - Előadások és posztterek összefoglalói*. 197. p.
8. FÓTI, SZILVIA; BALOGH, JÁNOS; PINTÉR, KRISZTINA; KONCZ, PÉTER; SÜLE, GABRIELLA; GIULIA, DE LUCA; NAGY, ZOLTÁN (2021): Ökoszisztéma-funkciók stabilitásának vizsgálata térbeli mérések alapján. In: Tinya, Flóra (szerk.) *12. Magyar Ökológus Kongresszus - Előadások és posztterek összefoglalói*. 49. p.
9. PINTÉR, KRISZTINA; FÓTI, SZILVIA; BALOGH, JÁNOS; PETRÁS, DÓRA; SÜLE, GABRIELLA; NAGY, ZOLTÁN (2021): Evapotranszspiráció és bruttó primer produkció becslése távérzékeléssel. In: Tinya, Flóra (szerk.) *12. Magyar Ökológus Kongresszus - Előadások és posztterek összefoglalói*. 98. p.
10. FÓTI, SZILVIA; BALOGH, JÁNOS; PINTÉR, KRISZTINA; KONCZ, PÉTER; SÜLE, GABRIELLA; NAGY, ZOLTÁN (2021): Ökoszisztéma funkciók hosszútávú stabilitásának vizsgálata agro-ökoszisztémákban. *Első Országos Interdiszciplináris Éghajlatváltozási Tudományos Konferencia 2021-04-12* [Budapest, Magyarország], HUPCC Magyar Éghajlatváltozási Tudományos Testület.

11. SÜLE, GABRIELLA; BALOGH, JÁNOS; KÖRMÖCZI, LÁSZLÓ (2018): A mikroklíma-mintázat és a vegetációszerkezet közötti összefüggések erdőssztyepp élőhelyen. In: Molnár, V Attila; Sonkoly, Judit; Takács, Attila (szerk.) *XII. Aktuális Flóra- és Vegetációkutatás a Kárpát-medencében. Program és összefoglalók*. Debrecen, Magyarország: Debreceni Egyetem TTK Növénytani Tanszék. 89. p.

Nem publikált tudományos jelentések:

12. SÜLE, GABRIELLA (2017): Hogyan járul hozzá egy erdőszegély mikroklíma-mintázata a lágyszárú növényzet földdinamikájához? Diplomamunka, SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM, Természettudományi és Informatikai Kar Ökológiai Tanszék, 43 p.
13. SÜLE, GABRIELLA (2017): Cönológiai szerkezet és mikroklíma mintázatok összefüggése erdőssztyepp életközösségekben. XXXIII. Országos Tudományos Diákköri konferencia: Biológia Szekció. Debrecen, 2017. április 9-12.