

## ÖKOSZISZTÉMA-SZOLGÁLTATÁSOK JAVÍTÁSA TERMÉNYDIVERZIFIKÁCIÓVAL A KISKUNSAGI-HOMOKHÁTON – KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A SZÉLERÓZIÓ ELKERÜLÉSÉRE

LÓCZY DÉNES – DEZSŐ JÓZSEF – TARJÁNYI FERENC – WEIDINGER TAMÁS  
– HORVÁTH LÁSZLÓ

IMPROVING THE PROVISION OF ECOSYSTEM SERVICES THROUGH CROP  
DIVERSIFICATION IN THE KISKUNSAĞ SAND REGION  
WITH SPECIAL REGARD TO WIND EROSION CONTROL

### Abstract

The destructive environmental impacts of large-scale agriculture are further aggravated by drier climate in the Danube-Tisza sand region, where soil fertility is low, water retention is very limited and groundwater levels are steadily dropping. The prevention of wind erosion is a central task in raising the level of ecosystem services. Among other related services the enrichment of the blown-sand soil with organic matter (enhancing carbon sequestration), the improvement of soil structure and water retention capacity and achieving higher soil biodiversity are major objectives. The international Diverfarming project (2017–2022) within the EU Horizon 2020 Program focussed on the impacts of crop diversification and low-input practices. In the experiments intercropping with different annual crops was investigated and its influences on some provisioning and regulating ecosystem services were evaluated in an asparagus field in Jakabszállás. Although the findings point out the decisive role of soil moisture conditions, the positive impacts of diversification are also remarkable. The local farmer agrees that crop diversification improves soil quality, but he denies that it would directly influence farm competitiveness, which is primarily dependent on the costs of fertilization, plant protection and labour. Further analyses are needed to prove the benefits of diversification through enriching soil microbial life and the possible reduction of fertilizer use while water demand is kept at a low level and the same crop quality is ensured.

**Keywords:** crop diversification, wind erosion, organic matter, water retention, carbon storage, greenhouse gas emissions, asparagus, cover crops

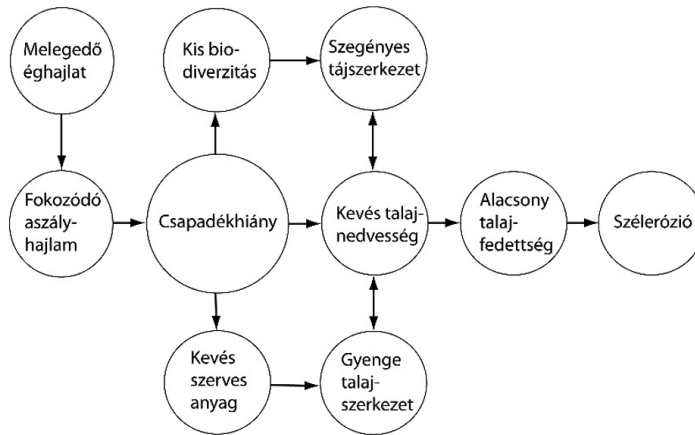
### Bevezetés

A belterjes nagyüzemi gazdálkodás bevezetése és a táji szintű diverzitás ebből következő csökkenése (MOONEN, A. C. et al. 2020) a termőföld minőségének leromlásával járt, emellett fokozott kockázatot is jelent a gazdálkodók számára (GRIFFITHS, B. S. et al. 2016). A monokultúrás termesztés nehezen képzelhető el olyan súlyos környezeti károkat okozó beavatkozások nélkül, mint a minél teljesebb körű gépesítés, műtrágyázás (ZHANG, X. et al. 2021) és növényvédő szerek alkalmazása (LI, A. et al. 2022). Az erősen átalakított mezőgazdasági tájak sebezhetőbbé váltak a társadalmi tevékenységek közvetett hatásai (mint az éghajlatváltozás) számára is. Az éghajlatváltozással szembeni sérülékenység szempontjából a futóhomokkal fedett folyami hordalékkúpok a vizes élőhelyekkel vetekednek (MIRZABAEV, A. et al. 2022).

Magyarországon a szárazodás folyamata talán legsúlyosabban a Duna-Tisza-közi-homokhátságot érinti, ahol a talaj vízraktározó képessége erősen korlátozott (KERTÉSZ Á. 2001; VÁRALLYAY GY. 2005; KOCSIS M. et al. 2018), a talajvíz szintje pedig folyamatosan csökken (RAKONCZAI J.–LADÁNYI Zs. 2010). A szórványosan előforduló, átlagos-

nál nagyobb csapadékú évek legfeljebb megakasztják, de nem képesek megfordítani ezt a tendenciát. A nedvességellátottság elégtelenségének következményeként megfelelő időjárási helyzetekben szükségszerűen kiszárad a talajfelszín, fellép a szélérozó, amely tovább csökkenti a földművelés számára amúgy is gyenge minőségű talaj termékenységét (FARSANG A. 2016). Mindezt erősíti az éghajlatváltozás, tehát a növekvő hőmérséklet és aszályhajlam, egyben a szélsőségek erősödése (MEZŐSI G. et al. 2015; KISS A. et al. 2020)

A kiskunsági tájhasználat környezeti problémái tehát éghajlati és talajtulajdonságokra egyaránt visszavezethetők (1. ábra).



1. ábra A futóhomok területek környezeti problémái  
Figure 1 Environmental problems in blown-sand areas

## Szakirodalmi áttekintés

Elméletileg a defláció elleni védekezésnek többféle lehetősége ismeretes (YANG, C.-H. et al. 2020):

1. A *nedvességellátottság* szempontjából fontos lenne a talajfelszín kiszáradásának megakadályozása vagy legalább lassítása (rendszeres öntözéssel, a kéregképződés elősegítése érdekében). Sajnos, az adott éghajlati viszonyok között ezt csaknem lehetetlen megvalósítani.
2. A növényzet védő hatásának erősítése táji szinten mezővédő erdősávok létesítésével (NÉGYESI G. 2018) képzelhető el, a mezőgazdasági táblák szintjén pedig „vízszintesen” a *felszínborítottság* növelésével, esetleg sűrűbben ültetett vagy vetett haszonnövényekkel, „függőlegesen” a felszín érdesítésével, a határréteg megemelésével lehet ezt elérni. Éppen a gyenge vízellátottság miatt azonban ennek eredményességében sem lehet bízni.
3. A beforgatott növényi részek növelik a talaj *szervesanyag-tartalmát*. A humifikálódó szerves anyag elősegíti a talajaggregátumok képződését, de lebomlásához megfelelő nedvességtartalom szükséges.
4. A talajszerkezet, az *aggregátumok stabilitása* közvetlen kapcsolatban áll a talaj minőségével és az ökoszisztéma szolgáltatásokkal (BORŰVKA, L. et al. 2002), köztük az erózióval szembeni ellenállással is. Exponenciális az összefüggés a talajszem-

csék (aggregátumok) közepes átmérője és a szélerózió (szemcseelragadás) indító sebessége között. Így ha sikerül előmozdítani nagyobb aggregátumok képződését, a szélerózió mértéke lényegesen mérsékelhető (SHAHABINEJAD, N. et al. 2019). A nagyon homogén szemcseösszetételű, agyagfrakciót csak minimális hányadban tartalmazó futóhomok-talaj esetében azonban erre alig van esély.

A tápanyagellátottság javításával akkor lehet fokozni az aggregátum-képződést, ha a talajnedvesség elegendő ahhoz, hogy a megélnékült mikrobiális talajélet megfelelő ütemben lebontsa a talajba juttatott szerves anyagot (SWAMINATHAN, C. et al. 2021). A szervesanyag-tartalom önmagában is hozzájárul a talajnedvesség megőrzéséhez, kiegyenlíti a talajhőmérséklet ingadozását, tompítja a szélsőséges pH-t, megköti a szennyező anyagokat, nehézfémeket. A kutatási területen az egykori nedvesebb időszakokra, talajképződési szakaszokra utaló vályogos szintek lassítják az esővíz mélyre szivárgását, ami lehetővé teszi a mikrobiális tevékenységet, a gyökérkapcsoltság (mikorrhiza kölcsönkapcsolatok) kifejlődését.

Az Európai Unió méltányos, egészség- és környezetbarát élelmiszer-stratégiája („Farm to Fork”, EU Commission 2020) számos irányelvet tartalmaz, amelyekre a növénytermesztés fenntarthatóságát, változatosabbá tételét szolgáló intézkedések építhetők (MOONEN, A. C., BARBERI, P. 2008). Az EU Horizon 2020 programja keretében folyó nemzetközi Diverfarming projekt fő témája a terménydiverzifikáció és a csökkentett művelés hatásainak értékelése. A vizsgálat Európa minden jelentős éghajlat és talaj alapján elkülönülő (pedoklimatikus) régiójára, tehát a dél- és észak-mediterrán, az atlanti, a kontinentális, a pannon, valamint a boreális körzetre, különböző kultúrákra (évelő fűszárú termények, mint a citrusfélék, olajfa- és szőlőültetvények, ill. egynyári gyümölcsök, mint a sárgadinnye, zöldségfélék, mint a paradicsom, a borsó, gabonafélék, takarmánynövények) is kiterjedt. A terménydiverzifikáció meghatározása értelmében a mezőgazdasági táblákon különböző fejlettségű növények jelennek meg különböző időben, amivel emelhető az ökoszisztéma-szolgáltatások színvonala. A diverzifikáció azonban még tágabb, társadalmi összefüggésben is vizsgálható. Egyes ökológusok bizonyítottan tartják, hogy a vadon élő és a természetű növények egyaránt társas lények, egymás társaságában jobban „érik” magukat, mint ha magányosan (monokultúrában) élnének (BORHIDI A. 2003; DUDLEY, S. A. et al. 2013).

Több Diverfarming mintaterületen vetésforgó-változatok a *diverzifikáció* eszközei. A magyarországi kísérletekben, álló kultúrákban azonban ezek nyilvánvalóan nem jelentenek megoldást. A kiskunsági, ill. a Villányi-hegység előterében fekvő mintaterületeken évelő, fűszárú terményeket (spárga és szőlő) természetnek, amelyek sorközei azonban elég tágasak ahhoz, hogy köztes vetéssel változatosabbá tehesük (diverzifikálhassuk) a mezőgazdasági táblák és környékük növényzetét. A köztes vetésű takarónövények különböző módokon javítják az ökoszisztéma-szolgáltatások színvonalát. A zöldtrágyázás szerves anyaggal dúsítja a talajt, ami növeli a víz visszatartását és termékenységét. A homokviharok szempontjából kritikus, nyárvégi időszakokban a növénytakarás mérsékeli a szél által elhordott talaj mennyiségét (tavasszal azonban sajnos még nem). Már egyedül a szélerózió csökkentése is a terménydiverzifikáció jelentős előnye, hiszen a szélverés vagy a humuszvesztés érezhető károkat okoz, nem csupán a spárgában, hanem más természetű növényekben is.

Megfelelő takarónövények kiválasztásával a diverzifikációnak nemcsak környezeti, hanem társadalmi-gazdasági előnyei is lehetnek, csökkenthetik a növénytermesztés gazdálkodási kockázatát. Gyakran ez a legkedvezőbb módja a természeti erőforrások kiaknázásnak (WEZEL, A. et al. 2014; BEILLOUIN, D. et al. 2021). A diverzifikációval foglalkozó uniós (Horizont 2020) projektek – az erózió elleni védelem kivételével – olyan,

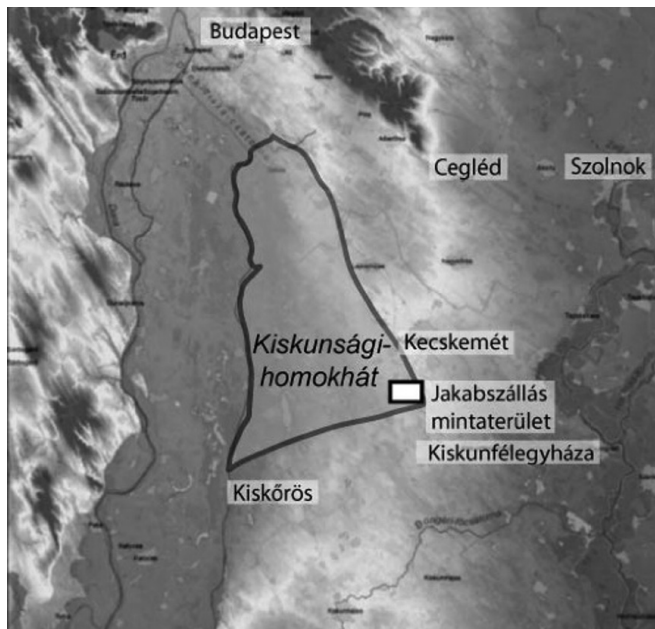
egymással szoros kölcsönhatásban álló ökoszisztéma-szolgáltatásokat tanulmányoznak, mint a talajtermékenység és a szénmegkötés fokozása, illetve az üvegházhatású gázok kibocsátásának és a talaj szennyeződésének a mérséklése (TAMBURINI, G. et al. 2020).

## Anyag és módszer

### *Kutatási terület*

A kiskunsági táj különlegességét hagyományosan élőhelyeinek mozaikossága adta. A szélsőségesen száraz homokbuckák és a köztük elterülő vizes élőhelyeik növényzetének kontrasztja napjainkban elhalványulóban van (BIRÓ M. 2006). A sokféleség nem csak lokális, hanem középtáji szinten is erősen csökken, a táj mintázata leegyszerűsödik.

A Jakabszállás határában elterülő mintaterület a kiskunsági hordalékkúpon fekszik (2. ábra). A talaja meszes futóhomok (a WRB rendszerben: Calcic Arenosol). A mezőgazdasági művelés számára rendkívül kedvezőtlen környezeti tulajdonságokkal rendelkezik (ZENTAY T. 1989): a homokfrakció aránya 90-99%, minimális az agyagtartalma (0-0,3%), a talaj szegény szerves anyagban (összes széntartalom 1,5-3,5 g/kg), ezért alacsony szintű az aggregátumok képződése (a  $>250\ \mu\text{m}$  átmérőjű szemcsék gyakorlatilag hiányoznak), közepes a szerves karbonátok mennyisége (3,5-4,5%). Elsősorban a csekély mennyiségű és szélsőséges évszakos eloszlású talajnedvesség, valamint az erősen limitált vízmegtartó képesség korlátozza a termékenységét és a természetű növények körét (CSERNI I. et al. 2015). A gyakori kiszáradás miatt a talaj nagymértékben ki vannak téve a szélereziónak. A homokviharak rendszeresen nagy tömegű, kis sűrűségű szerves részecskét (nagyrészt humuszanyagot) hordanak el (SZATMÁRI J. 2006).



2. ábra A jakabszállási mintaterület elhelyezkedése a Kiskunsági-homokhát  
Figure 2 Location of the Jakabszállás study area in the Kiskunság sand region

### *Az éghajlati vízhiány becslése*

A mintaterülethez legközelebb eső, kecskeméti meteorológiai állomás (12970) adatai szerint a sokéves csapadékátlag (1981-2010): 538 mm, Thornthwaite módszerével számolva, a CarpatClim adatbázisra támaszkodva (LAKATOS, M. et al. 2020) az évi potenciális evapotranspiráció: 904 mm. A kísérlet egyes éveiben az évi középhőmérséklet és az éves csapadékmennyiség a következőképpen alakult: 2018: 12,3°C, 540,5 mm; 2019: 12,5°C, 498,75 mm; 2020: 11,9°C, 587 mm. A párolgás meghatározására az egyrétegű Palmer-féle csöbör modellt használtuk (PALMER, W. C. 1965; ÁCS, F. et al. 2007). Alkalmazásához szükség van a *potenciális evapotranspiráció* becslésekre és különféle talajtani jellemzőkre (szabadföldi és hervadásponyi vízkapacitás, aktuális vízkészlet, gyökérszóna vastagság). Ezeket a Diverfarming projektben kötelező paraméterekként nyomon követtük. Terepi mérések és a közeli szinoptikus mérőállomások adataiból a FAO 56 és Thornthwaite-féle módszerrel is meghatároztuk a havi potenciális párolgást (PET, SZALAI V. et al. 2021).

### *Kezelési műveletek és diverzifikációs alternatívák*

Mivel a régióban termesztendő növények választéka erősen korlátozott, a kísérlethez egy spárgaföldet választottunk ki. A bakháton futó, földtakarású spárgasorok az uralkodó (északnyugati) szél irányával párhuzamosak, tehát szélcsatorna-hatással fokozzák a széleroziót (3. ábra).



3. ábra Földtakarású spárga bakhátak a jakabszállási mintaterületen, 2018. április 21. (DEZSÓ J. felvétele)  
Figure 3 Asparagus ridges with foil cover in the Jakabszállás study area, 21 April 2018 (by J. Dezső)

Az utóbbi években Magyarországon az erősen munka- és ráfordításigényes spárga termőterülete és termésmennyisége egyaránt jelentősen csökkent. 2006-ban még közel 2000 hektáron (ERDŐS Zs. 2019), míg 2021-ben kb. 1400 hektáron termelték ezt a zöldséget, főleg a fehér spárgát 4,5-6,5 t/ha termésátlaggal, 60-90%-ban exportra, döntően német piacra. A visszaesés oka az egyre fokozódó, a Covid-19 járvány idején különösen súlyossá váló munkaerőhiány, valamint az, hogy a termelők – a ráfordítások költségeihez képest – alacsonynak tartják felvásárlási árakat. (A spárga betakarításának gépesítésére léteznek technológiai megoldások, de a szükséges gépek beszerzése meghaladja a hazai termeszítők lehetőségeit.) A ráfordításokat, a művelés gyakori fizikai és vegyi műveleteit (amelyeknek természetesen környezetterhelő hatásuk és komoly költségvonzatuk) is van, az 1. táblázat érzékelteti.

*1. táblázat – Table 1*

Művelési beavatkozások a Nedel-Market Kft. (Jakabszállás) spárgaföldjén  
a kísérlet három évében  
Management of the asparagus field of the Nedel-Market Ltd. (Jakabszállás)  
in the three years of the experiment

<b>időpont 2018.</b>	<b>művelet</b>	<b>időpont 2019.</b>	<b>művelet</b>	<b>időpont 2020.</b>	<b>művelet</b>
03.29 -04.07.	bakhát készítése, fóliafedés	03.08 -03.18.	bakhát készítése, fóliafedés	02.20 -02.28.	bakhát készítése, fóliafedés
04.10 -06.03.	spárga- betakarítás	04.03.	köztes vetés	04.12.	köztes vetés
04.17.	köztes vetés	04.08 -06.10.	spárgabetakarítás	04.14 -06.10.	spárgabetakarítás
06.04 -06.06.	fólia lebontása	06.11 -06.12.	fólia lebontása	06.11 -06.13.	fólia lebontása
06.07 -06.08.	műtrágyázás <sup>+</sup>	06.13.	műtrágyázás <sup>+3</sup>	06.15.	műtrágyázás <sup>+4</sup>
06.08.	gyomirtás: hengerezés	06.13.	gyomirtás: rotálás	06.14 -06.16.	bakhátak lebontása
06.11.	bakhátak lebontása	06.14.	bakhátak lebontása	06.17.	növényvédelem (csak a bakhátakon): herbicid Sencor 600 SC 0,9 l/ha; Stomp Aqua (h.a.: pendimetalin) 3,5 l/ha
06.11.	növény- védelem*	06.15.	növényvédelem (csak a bakhátakon)*	07.02.	gyomirtás: hengerezés
07.30.	növény- védelem* <sup>2</sup>	07.02 -07.03.	gyomirtás: rotálás	07.10.	növényvédelem: fungicid Foilcur Solo: 0,9 l/ha; 0,025%-os Nonit
08.15.	gyomirtás: hengerezés; köztes vetemény betakarítása	07.05.	növény- védelem* <sup>5</sup>	07.18.	köztes vetemény betakarítása
08.23.	növény- védelem* <sup>3</sup>	07.25.	gyomirtás kombinátorral; köztes vetemény betakarítása	07.29.	gyomirtás: hengerezés
08.31.	műtrágyázás <sup>+2</sup>	08.01.	növényvédelem* <sup>6</sup>	08.07.	növényvédelem* <sup>2</sup>
09.01.	gyomirtás: hengerezés	08.13.	gyomirtás kombinátorral	08.13.	gyomirtás kombinátorral
09.07.	növény- védelem* <sup>4</sup>	08.22.	gyomirtás: rotálás	08.28.	növényvédelem* <sup>7</sup>

időpont 2018.	művelet	időpont 2019.	művelet	időpont 2020.	művelet
10.05.	gyomirtás kombinátorral	09.04.	növényvédelem: Folicur Solo 0,9 l/ha; 0,025%-os Nonit	09.18.	gyomirtás kombinátorral
11.20.	tövek mulcsozása	10.07.	gyomirtás kombinátorral	09.21.	növényvédelem: fungicid Folicur Solo: 0,9 l/ha; Signum WG (h.a.: boszkalid) 1 kg/ha; 0,025%-os Nonit
11.28.	téli bakhátak készítése	11.21 –11.22.	tövek mulcsozása	09.22.	műtrágyázás (Stallatico: 200 kg/ha, N: 5 kg/ha, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 6 kg/ha, K <sub>2</sub> O: 7 kg/ha)
		11.23 –11.29.	téli bakhátak készítése	09.24.	műtrágyázás <sup>+5</sup>
				09.24.	gyomirtás: hengerezés
				11.23.	tövek mulcsozása
				11.26.	gyomirtás: rotálás
				11.27.	téli bakhátak készítése

<sup>+</sup> K<sub>2</sub>O: 45 kg/ha; pétisó: 110 kg/ha, 27% N + 7% CaO + 5% MgO; Hunfert Super: 325 kg/ha, N: 39 kg/ha, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 19,5 kg/ha, K<sub>2</sub>O: 58,5 kg/ha

<sup>+2</sup> K<sub>2</sub>O: 40 kg/ha; pétisó: 110 kg/ha; Hunfert Super 200 kg/ha, N: 24 kg/ha; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 12 kg/ha; K<sub>2</sub>O: 36 kg/ha; Kieserit (25% MgO · 50% SO<sub>3</sub>); karbamid (urea N: 18,4 kg/ha)

<sup>+3</sup> K<sub>2</sub>O: 50 kg/ha; pétisó: 100 kg/ha; N: 27 kg/ha; Hunfert Super: 300 kg/ha, N: 36 kg/ha, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 18 kg/ha, K<sub>2</sub>O: 54 kg/ha

<sup>+4</sup> K<sub>2</sub>O: 42 kg/ha; pétisó: 100 kg/ha; N: 54 kg/ha; Hunfert Super: 300 kg/ha, N: 18 kg/ha, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 24 kg/ha; K<sub>2</sub>O: 48 kg/ha)

<sup>+5</sup> pétisó: 91 kg/ha; N: 24,6 kg/ha; Hunfert Super: 20 kg/ha, N: 2,4 kg/ha, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 1,2 kg/ha, K<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 3,6 kg/ha; Yara Mila: 7/20/28/90 kg/ha, N: 6,3 kg/ha, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 18 kg/ha, K<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 25,2 kg/ha, KCl: 45 kg/ha; K<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 27 kg/ha; Kieserit: 48 kg/ha, 25% MgO · 50% SO<sub>3</sub>)

\* peszticid 0,9 l/ha SENCOR 600SC (hatóanyag: metribuzin)

\*<sup>2</sup> fungicid (Amitstar Top, h.a.: difenokonazol + azoxisztobin 0,9 l/ha; 0,025%-os Nonit, h.a.: dioktil-szulfó-K-szukcinát)

\*<sup>3</sup> fungicid Polyram DF (h.a.: metiram) 1,2 kg/ha

\*<sup>4</sup> fungicid Folicur Solo (h.a.: tebukonazol) 0,9 l/ha; Polyram DF 0,6 kg/ha; 0,025%-os Nonit

\*<sup>5</sup> fungicid Amistar Top 0,9 l/ha; inszekticid Eribea (h.a.: alfa cipermetrin) 0,15 l/ha; 0,025%-os Nonit

\*<sup>6</sup> fungicid Polyram DF 1,2 kg/ha; Folicur Solo 0,9 l/ha; inszekticid Eribea 0,15 l/ha; 0,025%-os Nonit

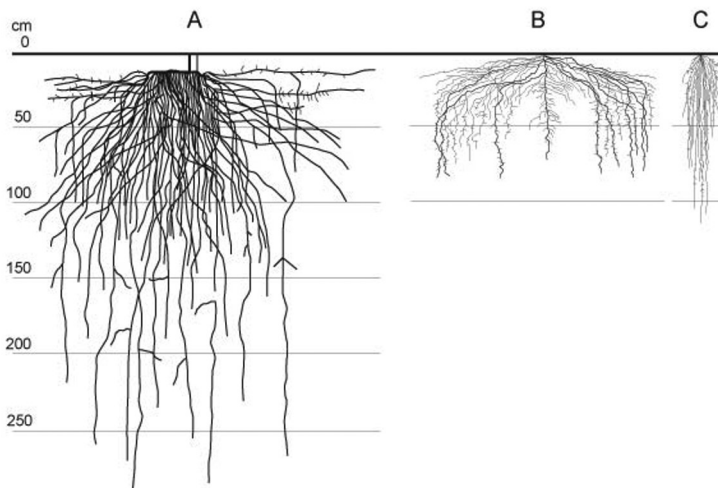
\*<sup>7</sup> fungicid Polyram DF 0,6 kg/ha; Folicur Solo 0,9 l/ha; inszekticid Eribea 0,15 l/ha; 0,025%-os Nonit

A műtrágyázás nem hagyható el, mert csökkennének a termésátlagok. Organikus termesztés esetén viszont kisebb az üvegházhatású gázok kibocsátása (ZAFIRIOU, P. et al. 2012), jobban eltarthatók a sápkok és magasabbak a minőségi paraméterek értékei (RUSSO, G. et al. 2012).

A spárgatermesztés tehát erősen vegyszerigényes, igen messze áll az organikus gazdálkodástól (FEHÉR B.-NÉ 1985). A táblázatban említett, főleg gombaölő és gyomirtó

szereken kívül, alkalmanként és helyenként, rovarkártevők megjelenésekor még valamilyen emulzióképző (eszfenvalerát és acetamiprid hatóanyagú) rovarölő szer kijuttatására is szükség lehet.

A köztes vetésű lágyszárúak kiválasztásakor ügyelni kellett a vízárt történő versengés (kompetíció) elkerülésére. A mintaterületen két különböző növénykultúra-diverzifikációt vezetünk be az ökoszisztéma-szolgáltatások színvonalának emelésére, különös tekintettel a szélerózió elleni védekezésre: spárga monokultúra (M, kontroll) parcellák váltakoznak diverzifikált parcellákkal, a spárga bakhátak között takarmányborsó (D1) és zab (D2) köztes vetésével. A hüvelyes, tehát gyökérgümőin nitrogénmegkötő baktériumokat tartalmazó, foszforban és káliumban is gazdag borsó és a szélsőséges időjárást jól tűró, szintén nagy tápanyagtartalmú zab a Kiskunságban széles körben termesztett növények. Gyökérszónájuk ugyan jelentősen átfedi egymást, de a legnagyobb hajszálgökér-sűrűség mélysége kellőképpen eltér (4. ábra), ezért a nedvesség- és tápanyagfelvételben viszonylag mérsékelt a versengés közöttük.



4. ábra A spárga (A), a takarmányborsó (B) és a zab (C) jellemző gyökérszete (Soil and Health Library, Chudleigh, Tasmania, Australia nyomán)  
 Figure 4 Typical root system of asparagus (A), field pea (B) and oat (C) (after Soil and Health Library, Chudleigh, Tasmania, Australia)

#### A szélerózió mérése

Az üledékcsapdákkal felfogott szél által szállított hordalék mennyiségét 100 m széles keresztmetszetben, négy magasságban mértük: közvetlenül a talaj felszínén, 30 cm, 200 cm és 400 cm magasságban. A meteorológiai megfigyelések adatsorát a szélesatorna kísérletekből (BARTUS M. et al. 2019) becsült homokmozgás kezdősebességei szerint értékeltük. A Kiskunság környezeti viszonyai között a kritikus indító szélesebbeséget a korábbi vizsgálatok 10 cm magasságban 6 m/s-re becsülték (LÓKI J. 2014) (megjegyzendő, hogy a kritikus indító sebesség exponenciálisan nő a talaj szervesanyag-tartalmával, bár ennek a futóhomok talaj esetében kicsi a jelentősége).

A talajerózió talajminőségre gyakorolt hatásának feltárása érdekében a felfogott hordalék kémiai összetételét is megvizsgáltuk. Nedves égetéses módszerrel (DÍAZ PEREIRA, E. et al. 2019) meghatároztuk a szervesanyag-tartalmat, pontosabban az összes szerves



szén ( $\text{TOC}_w$ ) értékét, valamint az összes karbonáttartalmat. A spárga és a kétféle takarónövény védőhatását a növények fejlődési állapota jelentősen befolyásolja. A vegetatív fejlődési szakaszban a talaj nitrogéntartalmának van döntő szerepe. Ezért az összes szén/összes nitrogén arányt analizátorral, Dumas módszerrel szintén mértünk (DÍAZ PEREIRA, E. et al. 2019).

### Üvegházhatású gázok kibocsátása

A mezőgazdaság jelentős kibocsátója a globális éghajlatváltozásért felelős üvegházhatású gázoknak ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  és  $\text{N}_2\text{O}$ ). A pannon pedoklimatikus régióban a kibocsátások fele mezőgazdasági eredetű. Szén-dioxid folyamatosan jut a légkörben, főleg a  $10^\circ\text{C}$  feletti hőmérsékletű talajokból, a dinitrogén-oxid pedig a nitrogénműtrágyák ammóniatartalmának nitrifikációjából származik. A homoktalaj viszont nyelje volt a metánnak, amit a metanotróf baktériumok először metanollá ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), végül szén-dioxiddá alakítanak.

A gázméréseket a statikus kamra módszerrel végeztük a műtrágyázás időpontjaihoz igazítva, évente legalább 25-33 alkalommal,  $+5^\circ\text{C}$ -nál magasabb talajhőmérsékletek esetén műtrágyázás után gyakoribb mintavétellel, összesen 18 párhuzamos mintavételi kamrát alkalmazva (5. ábra). A zárt kamrákból 0, 10, 20 és 30 perc eltelével mintát vettünk. A koncentrációkat gázkromatográfal mértük, lángionizációs detektor (FID:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ) és elektronbefogásos detektor (FID:  $\text{N}_2\text{O}$ ) segítségével. A talajfluxusokat a koncentrációakkumulációjából számítottuk. A kapott fluxusokat az időjárási viszonyok és a növények fejlődése figyelembe vételével értelmeztük.



5. ábra A gázminták vételéhez használt zárt rendszerű statikus kamra injekciós fecskendővel és tűvel (HORVÁTH L. felvétele)

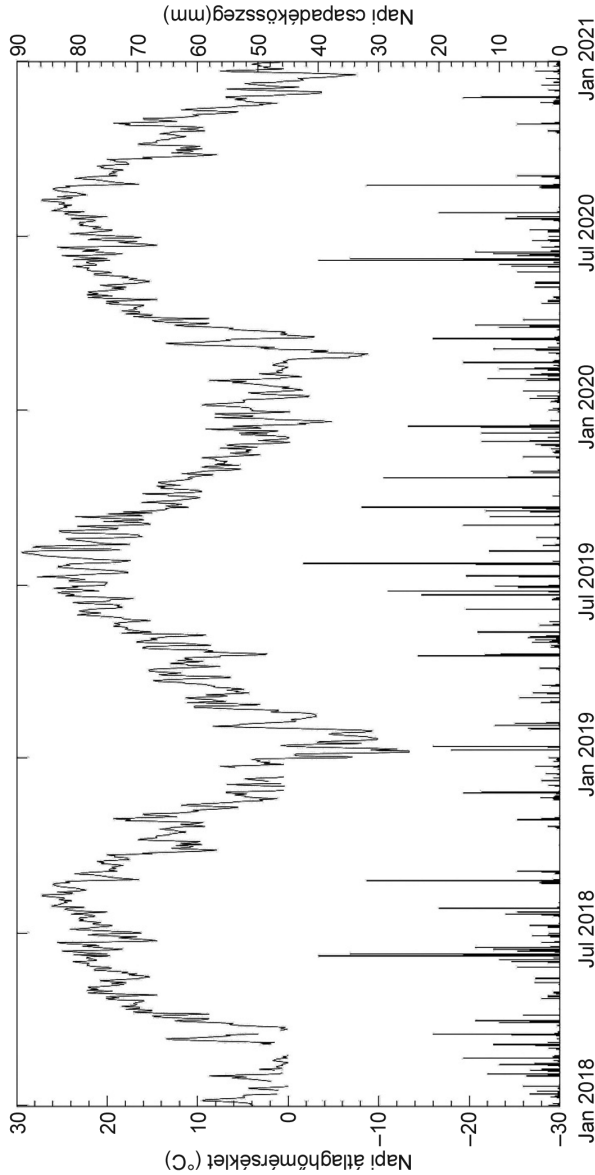
Figure 5 Closed-system static chamber for gas sampling with injection syringe and needle (photo by L. HORVÁTH)

### Eredmények

Talajfedettség szempontjából a diverzifikációk között jelentős különbségeket lehetett tapasztalni. A borsó- és zabvetemény jól hasznosította a ritkán hulló zivatarokból szár-

mazó nedvességet, és a második évtől kezdve már folyamatos (> 85%-os) *felszínborítottságot* biztosított. Sajnos a takarónövénynek ez a kedvező hatása csak az év viszonylag rövid időszakában, április végétől július elejéig figyelhető meg. Éppen a sok éves átlagban „legszelebb” koratavaszi hetekben marad fedetlenül a talajfelszín.

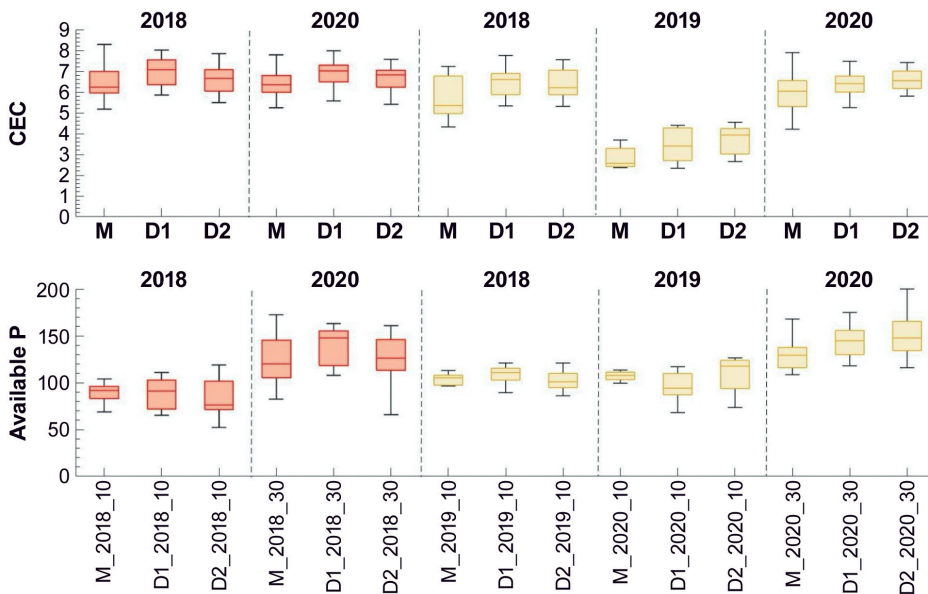
Az erózió mértékét nem csak a csapadék, hanem a teljes kiszáradási szakaszok (nedvességtartalom:  $< 0,02 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ) időbeli eloszlása is befolyásolja (6. ábra). Szerencsés módon a kísérlet második évének egy viszonylag hosszabb szakaszában a talajnedvesség-tartalom elérte az elfogadható (bár egyáltalán nem magas)  $0,1 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  értéket.



6. ábra A napi léghőmérséklet és a csapadék alakulása a kísérlet három ciklusa során  
 Figure 6 Daily mean air temperature and rainfall data over the three cycles of the experiment

A tápanyagellátottság alakulása a következő képet mutatja. A talaj felső 10 cm-es rétegében a teljes *nitrogéntartalom* átlagosan 310 mg/kg volt. A kísérlet első évében, a nagyobb mértékű műtrágyázásnak (pétisó, Hunfert Super – 1. táblázat) köszönhetően a N-tartalom megnőtt. Később már nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget a diverzifikációk (D1 és D2) között. A mélyebb, 10-30 cm közötti rétegben viszont a mikrobiális folyamatok eltérő intenzitása miatt a nitrogénellátottság meglehetősen változatos volt: a köztes vetés nélküli spárga sorközeiben 60 mg/kg, a borsó esetében 110 mg/kg volt a mértékadó érték, a zabbal benőtt sávokban volt a legalacsonyabb (50 mg/kg).

A diverzifikációkban a pH értékek fokozatosan csökkentek a kísérleti időszak során, ami annak lehet a következménye, hogy a takarónövények növekedése egyre több gyökérsav kibocsátásával járt. Az elektromos vezetőképesség értékei a vegyi kezelések hatására magasak maradtak. A *kationkicszerelő kapacitás* és az összes bázis enyhén emelkedő értékei már a rövid kísérleti időszak alatt is a tápanyagellátottság javulására utalnak a diverzifikált parcellákon (7a. ábra). (A mintavétel a spárga betakarításakor, júniusban A talaj felvehető *foszforkészlete* 2020-ban a diverzifikált táblákon érte el a csúcst (elsősorban a 0-10 cm közötti rétegben) (7b. ábra). Hasonló volt a magnézium trendje is.



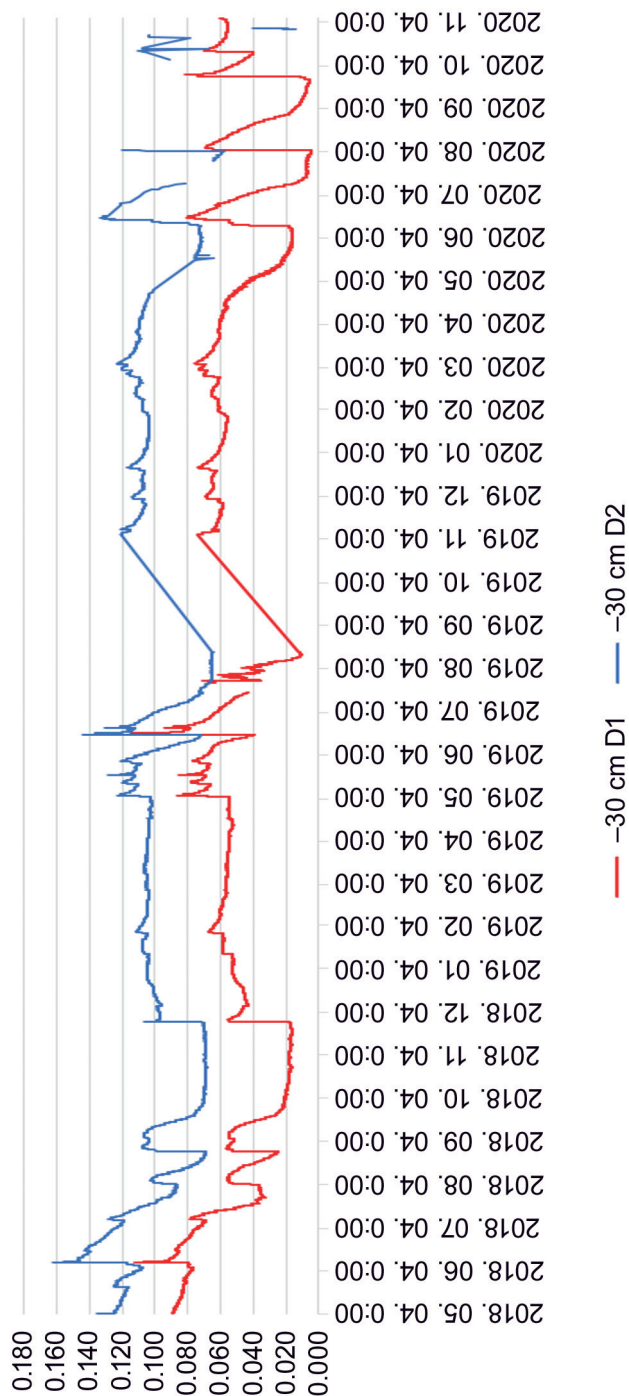
7. ábra A kationkicszerelő kapacitás (CEC, cmol/kg) (a) és a felvehető foszfor ( $P_{av}$ ) mennyiségének alakulása (b) box diagramon (a felső és alsó kvartilis, a medián valamint a szórás feltüntetésével) a különböző kísérleti parcellák talajában a kísérlet három évében, a különböző diverzifikációkban (M = spárga monokultúra; D1 = spárga + borsó, D2 = spárga + zab), 0-10 cm és 10-30 cm talajmélységben

Figure 7 Cation exchange capacity (CEC, cmol/kg) (a) and bioavailable phosphorus ( $P_{av}$ ) (b) shown on box diagram (upper and lower quartiles, median and standard deviation)

in the soil of the studied plots over the three-year period for the individual diversifications (M = asparagus monoculture; D1 = asparagus + field pea; D2 = asparagus + oat) at 0-10 cm and 10-30 cm soil depths

A futóhomok talajú mintaterületen a *talajnedvesség* megőrzésének kiemelkedő jelentősége van, a talaj termékenységét és a környezet állapotát leginkább ez határozza meg. Ebből a szempontból a kedvezőbb nedvességállapotot mutató D1 (spárga + takarmányborsó) diverzifikáció teljesített a legjobban, különösen a mélyebb szinten (8. ábra).

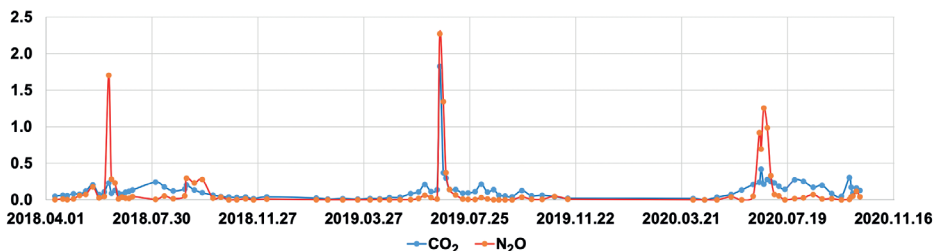
CS10 -30 cm



8. ábra A tényleges talajnedvesség mennyisége ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) a két diverzifikációban, 10-30 cm mélységben. A felső görbe a D1 (spárga + borsó), az alsó a D2 (spárga + zab) értékeit mutatja.  
 Figure 8 Actual soil moisture content ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) in both diversifications at 10-30 cm depth. The upper curve is for D1 (asparagus + field pea) and the lower is for D2 (asparagus + oat)

A várakozásoknak megfelelően a talajnedvesség- és tápanyagfelvétel tekintetében a fővetemény (20-120 cm mélység közötti fő gyökérszóna) és a takarónövények (a borsónál 0-20 cm, a zabnál 0-70 cm fő gyökérszóna) között minimális volt a kompetíció. A rendkívül alacsony agyagtartalom és aggregátumképző képesség miatt a talaj összes nitrogéntartalma jelentősen ugyan nem emelhető, de az összes szervesanyag-tartalom nőtt a növényi maradványok formájában a talajba juttatott biomassza következtében. (Jóllehet a növényi maradványok lebomlásának sebessége a száraz környezet miatt alacsony.)

Hogyan alakultak az *üvegházhatású gázok fluxusai* a kísérlet során? A téli hónapokban a kibocsátás jelentéktelen mértékű, mivel a kibocsátást előidéző folyamatok a hőmérséklettől függenek (9. ábra). A műtrágyázás utáni időszakban jelentkező nagy N<sub>2</sub>O csúcsok magyarázata a műtrágyák ammóniatartalmának nitrifikációja. A N<sub>2</sub>O csúcsaival egyidejűleg a vele összefüggő CO<sub>2</sub>-kibocsátás is megnő. Összességében a CO<sub>2</sub>-kibocsátás három év alatt 20,7 t/ha, a N<sub>2</sub>O-é pedig 14,5 kg/ha. A dinitrogén-oxid globális melegítő potenciálja (GWP) 300-szorosa a szén-dioxidénak, összemissziója 4,36 t CO<sub>2</sub>-egyenérték hektáronként, tehát a talaj összes üvegházhatásúgáz-kibocsátása három év alatt 25,0 t CO<sub>2</sub>-egyenértéket tett ki hektáronként.



9. ábra Az üvegházhatású gázok (CO<sub>2</sub> és N<sub>2</sub>O) kibocsátásának (mg/m<sup>2</sup>·h) menete a talajból a vizsgálat három éve során  
 Figure 9 Soil greenhouse gas (CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O) emissions (mg/m<sup>2</sup>·h) over the three years

A metánnak negatív a fluxusa, tehát a talaj elnyeli. Az elnyelés mértéke a szén-dioxid kibocsátásához képest jelentéktelen, mindösszesen -3,68 kg/ha a három év alatt. Ez a mennyiség a CO<sub>2</sub> kibocsátásnak (széntartalomban kifejezve) csak 0,05%-át teszi ki.

A nitrogénmegkötő baktériumok és a műtrágyahasználat miatt a D1 (borsó köztes vetés) parcellákon várható volt, hogy megnövekszik a N<sub>2</sub>O emissziója. (Az eredmények nincsenek összhangban néhány irodalmi adattal [PAPPA, V. A. et al. 2011; SENBAYRAM, M. et al. 2016], amelyek fordított trendet valószínűsítenek hüvelyesek vetése esetén.) A fedetlen talajfelszínhez képest megemelkedett N<sub>2</sub>O kibocsátást nem magyarázhatjuk teljes mértékben azzal, hogy a D1 diverzifikáció talajában több a nitrogén. A D2 parcellák szintén nagyobb emissziót mutatnak, melynek oka a köztes vetemények szerves anyagának beforgatása lehet (QIU, Q. et al. 2015). Eredményeink BASCHE, A. D. et al. (2014) megállapítását támasztják alá, hogy a hüvelyes takarónövények növelhetik, míg egyéb lágyszárú fajok csökkenthetik az N<sub>2</sub>O kibocsátást.

Az eróziós mérésekkel sikerült meghatároznunk a *szél általi hordalékszállítás* vertikális profilját. A talajfelszínen felett 15 cm-rel szaltációval mozgó homok mennyisége éves szinten átlagosan 2130 kg-ot ért el. A talajfelszín felett 200 cm-en évente 105,39 kg, 400 cm-en viszont már csupán 26,75 kg volt a felfogott pormennyiség. A felszínhez közeli üledékcsapdákban felfogott homok medián átmérője 174 μm volt, +15 cm-nél 134 μm, +200 cm-nél pedig 118 μm-re esett le. A szemcseméret mediánja a magassággal ugrás-szerűen csökkent: +400 cm-nél már csak 42 μm volt, ami durva sziltnek felel meg.

A teljes szerves szén ( $\text{TOC}_w$ ) és szervesetlen karbonát tartalom a szél által szállított, különböző magasságban csapdázott anyagokban szintén szoros összefüggést mutatott a felszín feletti magassággal.

A különböző diverzifikációk eredményessége a szélerózió mérséklése szempontjából a vizsgált években eltérő volt. Ha azonban a 2018-as évtől eltekintünk, mivel ekkor az aszály miatt a köztesen vetett takarónövények nem voltak képesek megfelelően fejlődni, a D2 jelű diverzifikáció (zab köztes vetése) mérsékelte hatékonyabban (a spárga monokultúrához képest mintegy 25%-kal, 2,6 t/ha · év-ről 1,9 t/ha · év-re csökkentve) a szélerózió által elragadott talaj mennyiségét, tehát az eróziós rátát.

### **Következtetések**

A Kiskunsági-homokháton a terménydiverzifikáció bevezetésének a következő előnyei lehetnek:

1. A nagyobb szervesanyag-tartalom és a kicserélhető kationok nagyobb mennyisége a talaj termékenységének javulására utal. Hosszabb távon a takarónövényekkel mikorrhizás kapcsolatok alakulhatnak ki.
2. A jobb talajfedettség és a csökkentett művelés mérsékeli a felszín kiszáradásának veszélyét, ezzel a takarónövények számára is nedvességet biztosít a felszínközeli talajsztintben.
3. A társadalmi-gazdasági előnyök rövid távon nehezen ítéltelők meg. A diverzifikáció bevezetése többletköltséggel jár, ami ronthatja a versenyképességet. Ugyanakkor a helyesen kiválasztott köztes vetemény értékesítése jövedelemforrás lehet. (A kísérletben a köztes vetemények értéke nehezen volt összemérhető az exportképes spárgáéval.)
4. A termelési kockázatok csökkentése, azaz a termőhelynek megfelelő, a klímaváltozáshoz igazodó termékkör kialakítása növelheti a versenyképességet.

Bár mérések csupán három benyészidőszakon keresztül folytak, bizonyos következtetések talán mégis levonhatók belőlük a szélerózióra vonatkozóan is.

1. A talajfelszín állapota minden parcellán azonos volt, a szél általi hordalékszállítás különbségeit a diverzifikáció okozta.
2. Az elragadott porfrakció szemcsemérete 4 m magasságban stabilizálódik, ahol a 0,7-8  $\mu\text{m}$  frakció (finom szerves anyag) aránya megnövekszik. Aszályos időszakokban tehát a porviharok jelentősen csökkentik a talaj termékenységét.
3. A talajfelszín teljes kiszáradása gyakran bekövetkezett a kísérleti időszakban. Ilyenkor semmilyen talajvédő megoldás, így a diverzifikáció sem segít. Minimális átnedvesedés idején a változatos terményösszeállítás, a széles sortávolságban ültetett növények sorközeinek bevetése mérsékelheti a szél általi eróziót.
4. A zab mint köztes vetés nagyobb felszínérdeességet okoz, jobb talajfedésével valamivel jobban véd a szélerózió ellen, mint a takarmányborsó. A kiporzás és a humuszvesztés is kisebb zab köztes vetés esetén. Ezt azonban kompenzálhatja a borsó mint hüvelyes növény nitrogénmegkötő képessége. Végső soron tehát mindkét takarónövénynek helye van a diverzifikáció tervezésében.

### **Köszönetnyilvánítás**

A szerzők köszönetüket fejezik ki az Európai Bizottságnak, a Horizont 2020 Program Diverfarming projekt (nyilvántartási száma: 728003) keretében nyújtott támogatásért, valamint Nedelkovics Dávid földtulajdonosnak, hogy helyet adott a kísérletnek.

---

LÓCZY DÉNES és DEZSŐ JÓZSEF  
PTE TTK Földrajzi és Földtudományi Intézet, Pécs  
loczyd@gamma.ttk.pte.hu, dejozsi@gamma.ttk.pte.hu

TARJÁNYI FERENC  
Nedel-Market Kft., Jakabszállás  
nedel@t-online.hu

WEIDINGER TAMÁS  
ELTE TTK Meteorológiai Tanszék, Budapest  
weidi@caesar.elte.hu

HORVÁTH LÁSZLÓ  
SZTE TTIK Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék, Szeged  
horvath.laszlo.dr@gmail.com

#### IRODALOM

- ÁCS, F. – BREUER, H. – SZÁSZ, G. 2007: Estimation of actual evapotranspiration and soil water content in the growing season. *Agrokémia és Talajtan* 56. 2. pp. 217-236. DOI: 10.1556/agrokem.56.2007.2.3
- BARBERI, P. 2013: Functional Agrobiodiversity: The Key to Sustainability? *Environmental Science* DOI: 10.1016/B978-0-12-404560-6.00001-0Corpus
- BARBERI, P. – MOONEN, A. C. (eds.) 2020: Reconciling agricultural production with biodiversity conservation. *Burleigh-Dodds Science Publishing, Cambridge (UK)*. DOI: 10.19103/AS.2020.0071
- BARTUS M. – BARTA K. – SZATMÁRI J. – FARSANG A. 2019: Csongrád megye talajainak szélcsatorna kísérletekre alapozott szélerózió veszélyeztetettség becslése. *Agrokémia és Talajtan* 68. 2. pp. 225-242. DOI: 10.1556/0088.2019.00046
- BASCHE, A. D. – MIGUEZ, F. E. – KASPAR, T. C. – CASTELLANO, M. J. 2014: Do cover crops increase or decrease nitrous oxide emissions? A meta-analysis. *Journal of Soil and Water Conservation* 69. 6. pp. 471-482. DOI: 10.2489/jswc.69.6.471
- BEILLOUIN, D. – BEN-ARI, T. – MALEZIEUX, E. – SEUFERT, V. – MAKOWSKI, D. 2021: Positive but Variable Effects of Crop Diversification on Biodiversity and Ecosystem Services. *Global Change Biology* 27. 19. pp. 4697–4710. Wiley Online Library. DOI: 10.1111/gcb.15747
- BETHWELL, C. – BURKHARD, B. – DAEDLOW, K. et al. 2021: Towards an enhanced indication of provisioning ecosystem services in agro-ecosystems. *Environmental Monitoring and Assessment* 193 (Supplement 1), pp. 269-. DOI: 10.1007/s10661-020-08816-y
- BIRÓ M. 2006: A történeti térképekre alapuló vegetációrekonstrukció és alkalmazásai a Duna-Tisza közén. PhD. értekezés, Pécsi Tudományegyetem, Pécs.
- BORHIDI A. 2003: A növények társadalma. In: *Gaia zöld ruhája*. Akadémiai Kiadó, Budapest. pp. 287-308. <https://adoc.pub/borhidi-attila-a-nvények-tarsadalma.html>
- BORŰVKA, L. – VALLA, M. – DONÁTOVÁ, H. – NĚMEČEK, K. 2002: Vulnerability of soil aggregates in relation to soil properties. *Rostlinna Vyroba* 48.8. pp. 329-334. DOI: 10.17221/4376-PSE
- CSERNI I. – PETŐ J. – HÜVELY A. 2015: A Duna-Tisza közti homokhátság múltbeli, jelenlegi és jövőbeli kutatási eredményei és lehetőségei. *Economica* 4. 2. pp. 12–20.
- DÍAZ PEREIRA, E. – MARTINEZ-MENA, M. – DE VENTE, J. – ALMAGRO BONMATÍ, M. – BOIX-FAYOS, C. 2019: Total carbon (organic and inorganic carbon) and nitrogen. In: *ÁLVARO-FUENTES, J. – LÓCZY, D. – THIELE-BRUHN, S. – ZORNOZA, R. (Eds.): Handbook of Plant and Soil Analysis for Agricultural Systems*. Crai Ediciones, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Spain. pp. 157–160.
- DUDLEY, S. A. – MURPHY, G. P. – FILE, A. L. 2013: Kin recognition and competition in plants. *Functional Ecology* 27, pp. 898–906. DOI: 10.1111/1365-2435.12121
- ERDŐS Zs. 2019: A genotípus és tápanyagellátási forma hatékonyságának vizsgálata halványított spárgában. *Kerpely Kálmán Doktori Iskola, Debreceni Egyetem*. 201 p.
- EU COMMISSION 2020: Farm to Fork Strategy. For a fair, healthy and environmentally-friendly food system. European Union. 23 p. [https://food.ec.europa.eu/system/files/2020-05/f2f\\_action-plan\\_2020\\_strategy-info\\_en.pdf](https://food.ec.europa.eu/system/files/2020-05/f2f_action-plan_2020_strategy-info_en.pdf)

- FARSANG A. 2016: A víz- és szélerózió szerepe a talaj humusz- és elemtartalmának horizontális átrendeződésében. MTA Doktori értekezés. Kézirat, Szegedi Tudományegyetem, Szeged. <http://real-d.mtak.hu/880/>
- FEHÉR B.-NÉ 1985: Spárgát a piacra. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest
- GRIFFITHS, B. S. – RÖMBKE, J. – SCHMELZ, R. M. – SCHEFFCZYK, A. – FABER, J. H. – BLOEM, J., et al. 2016. Selecting Cost Effective and Policy-Relevant Biological Indicators for European Monitoring of Soil Biodiversity and Ecosystem Function. *Ecological Indicators* 69, pp. 213–223. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.04.023
- HÜPPI, R. – HORVÁTH, L. – DEZSŐ, J. – PUHL-REZSEK, M. – SIX, J. 2022: Soil Nitrous Oxide Emission and Methane Exchange from Diversified Cropping Systems in Pannonian Climate. *Frontiers in Environmental Science* 10. pp. 1–11. DOI: 10.3389/fenvs.2022.857625
- KERTÉSZ Á. – PAPP S. – SÁNTHA A. 2001: Az aridifikáció folyamatai a Duna-Tisza-közén. *Földrajzi Értesítő* 50. 1–4. pp. 115–126.
- KIS, A. – PONGRÁCZ, R. – BARTHOLY, J. – GOCIC, M. – MILANOVIC, M. – TRAJKOVIC, S. 2020: Multi-scenario and multi-model ensemble of regional climate change projections for the plain areas of the Pannonian Basin. *Időjárás* 124. 2. pp. 157–190. DOI: 10.28974/idojaras.2020.2.2
- KOCSIS M. – DUNAI A. – FARSANG A. – MAKÓ A. 1918: Magyarország kistájainak talajspecifikus aszályérzékenysége a szántóföldi növények termésreakciói alapján. *Földrajzi Közlemények* 142. 2. pp. 89–101.
- LAKATOS, M. – WEIDINGER, T. – HOFFMANN, L. – BIHARI, Z. – HORVÁTH, Á. 2020: Computation of daily Penman-Monteith reference evapotranspiration in the Carpathian Region and comparison with Thornthwaite estimates. *Advances in Science and Research* 16, 251–259. DOI: 10.5194/asr-16-251-2020
- LI, A., WANG, M., KROEZE, C., MA, L., STOKAL, M. 2022: Past and future pesticide losses to Chinese waters under socioeconomic development and climate change. *Journal of Environmental Management* 317, [115361]. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.115361
- LÓKI J. 2014: A szélerózió és az ellene való védekezés. In: SZABÓ L. – REMENYIK B. (szerk.) *Talajvédelem: környezet (táj) védelem*. Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő. pp. 89–134.
- MAIER, R. – HÖRTNAGL, L. – BUCHMANN, N. 2022: Greenhouse gas fluxes (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub>) of pea and maize during two cropping seasons: Drivers, budgets, and emission factors for nitrous oxide. *Science of The Total Environment* 849, 157541. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.157541
- MEZŐSI G. – BLANKA V. – LADÁNYI ZS. – BATA T. 2015: A szélerózió érzékenység klímaváltozáshoz köthető változásának vizsgálata Magyarországon. In: Rakonczai J. – Blanka V. – Ladányi Zs. (szerk.): *Tovább egy zöldebb úton. A Szegedi Tudományegyetem Földrajzi és Földtani Tanszékcsoport részvétele a ZENFE programban (2013–2015)*. SZTE Földrajzi és Földtani Tanszékcsoport, Szeged. pp. 80–89.
- MIRZABAEV, A. – STRINGER, L. C. – BENJAMINSEN, T.A. – GONZALEZ, P. – HARRIS, R. – JAFARI, M. – STEVENS, N. – TIRADO, C. M. – ZAKIELDEEN, S. 2022: Cross-Chapter Paper 3: Deserts, Semiarid Areas and Desertification. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK – New York, USA, pp. 2195–2231, DOI: 10.1017/9781009325844.020
- MOONEN, A. C. – BARBERI, P. 2008: Functional biodiversity: An agroecosystem approach. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 127. 1–2. pp. 7–21.
- NÉGYESI G. 2018: Mezővédő fásítások tér- és időbeli változásának vizsgálata a Nyírségben – a szélerózió szemszögéből. *Tájékológiai Lapok*, 16. 2. pp. 113–128.
- PALMER, W.C. 1965: 1965: Meteorological Drought. U.S. Research Paper 45. Indicator codes CLIM 029, LSI 007. US Weather Bureau, Washington, DC, 58 p. <https://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/drought/docs/palmer.pdf>
- PAPPA, V. A. – REES, R.M. – WALKER, R.L. – BADDELEY, J. A. – WATSON, C. A. 2011: Nitrous oxide emissions and nitrate leaching in an arable rotation resulting from the presence of an intercrop. *Agricultural Ecosystems and Environment* 141, pp. 153–161. DOI: 10.1016/j.agee.2011.02.025
- QIU, Q. – WU, L. – OUYANG, Z. – LI, B. – XU, Y. – WU, S. – GREGORICH, E. G. 2015: Effects of plant-derived dissolved organic matter (DOM) on soil CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions and soil carbon and nitrogen sequestrations. *Applied Soil Ecology* 96, pp. 122–130. DOI: 10.1016/j.apsoil.2015.07.016
- RAKONCZAI J. – LADÁNYI ZS. 2010: A sejtethető klímaváltozás és a Duna–Tisza közti Homokhátság. *Forrás*, 42. 7–8. pp. 140–152.
- REGINA, K. – HÜPPI, R. 2019: Soil greenhouse gas emissions. In: ÁLVARO-FUENTES, J. – LÓCZY, D. – THIELE-BRUHN, S. – ZORNOZA, R. (Eds.): *Handbook of Plant and Soil Analysis for Agricultural Systems*. Crai Ediciones, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, Spain. pp. 290–293.
- RUSSO, G. – CARUSO, G. – VILLARI, G. – BORRELLI, C. 2012: Effects of crop method and harvest seasons on yield and quality of green asparagus under tunnel in southern Italy. *Advances in Horticultural Science* 26. 2. pp. 51–58. DOI: 10.13128/ahs-12738
- SAINJU, U. M. 2017: Determination of nitrogen balance in agroecosystems. *MethodsX*, 4, pp. 199–208. DOI: 10.1016/j.mex.2017.06.001



- SENBAYRAM, M. – WENTHE, C. – LINGNER, A. – ISSELSTEIN, J. – STEINMANN, H. – KAYA, C. – KÖBKE, S. 2016: Legume-based mixed intercropping systems may lower agricultural born N<sub>2</sub>O emissions. *Energy, Sustainability and Society* 6. 2. DOI: 10.1186/s13705-015-0067-3
- SHAHABINEJAD, N. – MAHMOODABADI, M. – JALALIAN, A. – CHAVOSHI, E. 2019: The fractionation of soil aggregates associated with primary particles influencing wind erosion rates in arid to semiarid environments. *Geoderma*, 356, 113936. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.113936
- Soil and Health Library 2022: Chudleigh, Tasmania, Australia. <https://soilandhealth.org/wp-content/uploads/01aglibrary/010137veg.roots/>
- SWAMINATHAN C. – NIVETHADEVI, P. – PANDIAN, K. 2021: Soil Organic Matter Decomposition – Roles, Factors and Mechanisms. In: *Latest Trends in Soil Sciences Vol. 1.* (ed. SINGH PORTE, S.) Integrated Publications, New Delhi. pp. 61-91. DOI: 10.22271/int.book.33
- SZALAI V. – WEIDINGER T. – DEZSÓ J. 2021: Párolgásbecslések hazai spárga és szőlőültetvényeken. *Léggör*, 64. pp. 5–10.
- SZATMÁRI J. 2006: Geoinformatikai módszerek és folyamatmodellek alkalmazása a széleróziós vizsgálatokban. PhD értekezés. Kézirat, Szegedi Tudományegyetem, Szeged
- TAMBURINI, G. – BOMMARCO, R. – WANGER, T. C. – KREMEN, C. – VAN DER HEIJDEN, M. G. A. – LIEBMAN, M. – HALLIN, S. 2020: Agricultural Diversification Promotes Multiple Ecosystem Services without Compromising Yield. *Sci. Adv.* 6, eab1715. American Association for the Advancement of Science, Washington, DC. DOI: 10.1126/sciadv.ab1715
- TEEB 2010: The economics of ecosystems and biodiversity: mainstreaming the economics of nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB. <https://teebweb.org/publications/teeb-for/synthesis/>
- VÁRALLYAY Gy. 2005: Magyarország talajainak vízraktározó képessége. *Agrokémia és Talajtan* 54. 1-2. pp. 5–24. DOI: 10.1556/agrokem.54.2005.1-2.2
- WEZEL, A. – CASAGRANDE, M. – CELETTE, F. – VIAN, J.-F. – FERRER, A. – PEIGNÉ, J. 2014: Agroecological Practices for Sustainable Agriculture. A Review. *Agronomic Sustainability Development* 34, 1–20. Springer, Dordrecht. DOI: 10.1007/s13593-013-0180-7
- YANG, C.-H. – GENG, Y.-X. – XING, ZH.-F. – COULTER, J.A. – CHAI, Q. 2020: The Effects of Wind Erosion Depending on Cropping System and Tillage Method in a Semi-Arid Region. *Agronomy* 10. 5. pp. 732. DOI: 10.3390/agronomy10050732
- ZAFIRIOU, P. – MAMOLOS, A. P. – MENEXES, G. C. – SIOMOS, A. S. – TSATSARELIS, C. A. – KALBURTJII, K. L. 2012: Analysis of energy flow and greenhouse gas emissions in organic, integrated and conventional cultivation of white asparagus by PCA and HCA: cases in Greece. *Journal of Cleaner Production* 29, 20-27. DOI:10.1016/j.jclepro.2012.01.040
- ZENTAY T. 1989: A Duna-Tisza-köze déli részének agroökológiai értékelése. *MÁFI Módszertani Közlemények* 13. 2. pp. 1–112.
- ZHANG, X. – ZOU, T. – LASSALETTA, L. – MUELLER, N. D. – TUBIELLO, F. N. – LISK, M. D. et al. 2021: Quantification of Global and National Nitrogen Budgets for Crop Production. *Natural Food* 2, pp. 529–540. DOI: 10.1038/s43016-021-00318-5
- ZSOMBIK L. – ERDŐS ZS. 2014: A tápanyagellátás hatása a különböző spárga (*Asparagus officinalis* L.) hibridek termésének alakulása nyírségi homoktalajon. In: VEISZ O. B. (szerk.): *Növénynevelés a megújuló mezőgazdaságban.* MTA Agrártudományok Osztályának Növénynevelési Bizottsága, Budapest. pp. 518–522.