

TALAJTANI, VÍZGAZDÁLKODÁSI ÉS NÖVÉNYTERMESZTÉSI TUDOMÁNYOS BIZOTTSÁG

Összefoglaló

Magyarország talajtakarójának kb. 60%-a termőterület. Ez indokolja a mezőgazdasági, természet- és talajvédelmi kutatásokat. A korszerű talajtani kutatások a talajban végbemenő, a környezeti folyamatok által szabályozott anyag- és energiaáramok feltárására irányulnak. Annak elősegítését szolgálják továbbá, hogy a klímaváltozás és a környezetszennyezés hatásai ellenére a talaj természeti erőforrásként hosszútávon fenntartható legyen. Kiemelten fontos a talajokra vonatkozó ismeretek megőrzése és újjákkal bővítése. Ezzel összefüggésben a jelenlegi hazai talajosztályozás korszerűsítésére nemzetközileg elfogadott, új hazai talajosztályozási rendszer alapjait dolgozták ki. A korábbi hazai talajtérképek és talajfelvételek digitalizált térinformatikai feldolgozásával térbeli talajinformációs rendszereket alakítottak ki. Talajaink növényi termőképessége alapvetően a talaj vízgazdálkodása által meghatározott. A talaj természetes víztárolóként biztosítja a növények vízellátását és túlélését a száraz időszakokban. Ezért a korszerű hazai talaj-vízgazdálkodási kutatások és azok térképi megjelenítése nélkülözhetetlen az élelmiszerellátásunkat biztosító növénytermesztés sikerességéhez. A növénytermesztési kutatások súlyponti területe a klímaváltozáshoz való alkalmazkodás és a klímavédelem. Kutatási eredményeik alapját képezték a Nemzeti Éghajlat Változási Stratégiának. A klímaváltozással összefüggő szénmegkötés kutatása eredményeként földművelési és növénytermesztési technológiákat adtak közre. Kidolgozták a környezetkímélő, ún. precíziós mezőgazdaság termesztéstechnológiai alapjait. A növénytermesztési tartamkísérletek adatbázisán kidolgozott „Pro Planta” Költség- és Környezetkímélő Trágyázási Szaktanácsadási Rendszer és Szoftver Innovációs Nagydíjat nyert. A megújuló energiatermelés, így a biomassa, biodieszel, bioetanol előállítás kapcsán innovatív eredményeket értek el. Az elmúlt három évtizedben jelentős oktatási és kutatómetodikai fejlesztéseket hajtottak végre.

Kulcsszavak

Diagnosztikus talajosztályozás, háromdimenziós talaj-vízgazdálkodási térkép, elektromos gyökérkapacitás mérés, térbeli talajinformációs rendszer, precíziós növénytermesztés, digitális talajtérképezés, talajminőség értékelés, szennyezett talajú terület kármentesítése, szerves szennyeződésterjedési modell, vörösiszapelöntés kármentesítése, Rhizobium oltóanyag, arbuskuláris mikorrhiza (AM) gombák, fitoremediáció, talaj mezo-fauna szonda, energianövények termesztése, klímaváltozás agronómiai kezelése, carbon sequestration, tartamkísérleti kataszter, talajművelési rendszerek, fenntartható gazdálkodás.

Talajosztályozási eredmények:

Stefanovits Pál hagyománya szerint folytattak talajosztályozási kutatásokat és tettek kitekintést a 21. századra [1]. A talajgenetikai osztályozást felhasználva, a nemzetközi diagnosztikus osztályozásban történő aktív részvétellel [2] új hazai talajosztályozási rendszer alapjait dolgozták ki [3, 4], javasolták tesztelését és bevezetését [5, 6]. Kidolgozták és bevezették a diagnosztikus talajosztályozás oktatását az egyetemi- és a szakmérnöki képzésben.

Talajvízgazdálkodási eredmények:

3937 db talajszelvény 15005 db talajrétegének talajfizikai, talajkémiai és vízgazdálkodási adataiból létrehozták Magyarország Részletes Talajfizikai és Hidrológiai adatbázisát (MARTHA). A MARTHA Európa egyik legrészletesebb, országos áttekintésű talajfizikai adatbázisa [7].

Az eddigi legrészletesebb háromdimenziós talaj-vízgazdálkodási térképeket állították elő Európára EU-SoilHydroGrids néven [8]. A térképek alapinformációkat szolgáltatnak a klímadata és vízmegőrző területhasználat tervezéséhez.

Termesztett és vadon élő növények gyökérműködésének vizsgálatára a növényt nem károsító, az élőhelyen alkalmazható, elektromos gyökérkapacitást mérő módszert vezettek be és fejlesztettek tovább. A módszerrel a gyomirtószer, a gyökérgomba (mikorrhiza) és a szárazság gyökérműködésre és a növény élettani jellemzőire gyakorolt hatását mutatták ki. Igazolták, hogy a növények fejlődése során mért gyökérkapacitás-értékek a növény vízfelvételi aktivitását és párologtatásának mértékét is jellemzik vízvezető képességét összehasonlítva megállapították, hogy egyezésük jelentős mértékben a vezetőképesség számítására használt módszertől függ [11].

Hiperspektrális kamerával rögzített többdimenziós felvételek segítségével a talaj és a növényállapot időbeli változását cm-es felbontásban értékelték. Lézerszkennelt felvételekkel pedig gyümölcsösök párolgási felületének változását állapították meg. Módszerükről elfogadott szabadalmat dolgoztak ki [12].

Szikkutatási eredmények: Várallyay György vezetésével, nemzetközi együttműködésben újították meg a hazai szikes talajok térképezését távérzékelési, geoinformatikai és geostatisztikai módszerekkel [13]. Nemzetközi együttműködésben módszert dolgoztak ki a szikes területek változatos mintázatának optimális felbontású térképezésére [14]. A szikes talajok tulajdonságait jelző növényzet tér- és időbeli változatosságára, valamint a klímaváltozás szikes területek talajaira kifejtett hatását nemzetközileg elismerten írták le [15]. A távérzékelte szikes területek felmérési eredményei a Hortobágyi Nemzeti Park restaurációjában, a természeteshez közeli fajösszetételű növényállományok magvetéses visszaállításában hasznosíthatók.

Talajtérképezési eredmények:

A talajtérképezés a talajtakaró térbeli tulajdonságai, a talajok térbeli változatossága megjelenítésére szolgál. Korábbi hazai talajtérképek és talaj-felvételezések digitalizálásával és térinformatikai feldolgozásával térbeli talajinformációs rendszereket alakítottak ki [16].

Németh Tamás vezetésével a „Precíziós növénytermesztés” programban a mezőgazdasági táblaadatok hasznosítására fejlesztettek ki módszereket [17]. A programban kidolgozott adatbázisokkal a gazdálkodó agrár-környezetgazdálkodási tervet, valamint az üzem adottságait és a tájgazdálkodást is figyelembe vevő környezetkímélő tápanyag gazdálkodási, növényvédelmi, talajművelési, vetésforgó tervezési, fajtahasználati és hulladékgazdálkodási tervet dolgozhat ki.

Magyarország mezőgazdasági területének felső 25 cm-es talajrétegére 250 m részletességű talajtulajdonság térképsorozatot készítettek [18]. Erdészeti és mezőgazdasági termőhelyi adatbázisokból különböző célú digitális talajtérképeket (ERTIGIS portál) szerkesztettek [19]. A DOSoReMI.hu (Digitális, Optimalizált, Talajtérképek és Térbeli Információk) projekt keretében megújították a hazai talajtéradat infrastruktúrát. Ennek eredményeként folyamatosan születnek talajrétegekre vonatkozó országos talajtulajdonság és ún. 'funkcionális' térképek, pl. víz- és szélerózió veszélyeztetettség, valamint vízgazdálkodás térképek. A digitális talajtérképezés eredményeként a talajjellemzők térképi becsléséhez a becslés bizonytalanságát is hozzárendelték [20]. A digitális talajtérképek felhasználhatók, pl. a hátrányos-, illetve kiváló- és jó termőhelyi adottságú szántóterületek lehatárolására, az élőhelyek, illetve az ökoszisztéma szolgáltatások térképezésére.

A Duna Régió környezeti modellezésére talajreferencia-csoport (WRB) digitális talajtípus térképet készítettek, ami egységes alapot biztosít a Duna Stratégia egyes feladatai elvégzéséhez.

Nemzetközi közreműködéssel a Global Soil Partnership programban a világ talajainak új, nagy felbontású szervesszén-térképét (Global Soil Organic Carbon Map) készítették el [21].

Európai talajadatokon térbeli becsléseket dolgoztak ki az európai talajok nehézfém tartalmának a korábbiaknál nagyobb részletességű és megbízhatóságú értékelésére [22].

Magyar vezetésű, főként hazai kutatókból álló nemzetközi konzorcium módszertant dolgozott ki indonéz tőzegterületek kiterjedése, vastagsága, térfogata és szerves kötésű szénmennyisége becslésére [23].

Talajminősítés, földértékelés

Összetett minősítési módszert dolgoztak ki, hogy a talajminőséget a talajra ható külső tényezők és változásuk lehetőségével ítélik meg [24].

Első ízben készítették el az EU szántóinak termékenységi osztályozását és szerkesztettek térképet az EU szántóterületeinek földminőségéről. A földminőséget az ökoszisztéma szolgáltatások rendszerébe helyezve kontinentális léptékben értékelték [25].

Új módszereket dolgoztak ki a közeli infravörös és az elektromágneses talajszenzormérések értékelésére, az internetes szaktanácsadásra a precíziós növénytermesztési technológia kidolgozása és népszerűsítése érdekében.

Talajszennyezés – kármentesítés – környezetvédelem

A katonai létesítmények felszámolása és az ipari üzemek, bányászat stb. privatizációja szükségessé tette a szennyezett területek kármentesítésének és a talajszennyezettség határérték rendszerének kidolgozását [26] az Országos Környezeti Kármentesítési Programban [27].

Várallyay György útmutatásaival indult a Talajvédelmi Információs és Monitoring rendszer (TIM) mérőhálózatának kialakítása a hazai mezőgazdasági és erdészeti mérőhelyek talajszennyezettségének monitorozására [28, 29].

A korábbi katonai állomáshelyeken szükség volt a nem vizes fázisú, azaz szerves folyadékokkal (NAPL) szennyezett talajok kármentesítésére. A szerves szennyeződés terjedését a talajban leíró modell pontosítására kidolgozták a talajok hőmérsékletfüggő NAPL-visszatartó képességének mérési és becslési módszerét [30, 31]. Javították továbbá a talajok NAPL-vezető képességet mérő és becsülő módszereket [32].

A mezőgazdasági területek károselem-terhelését a világon egyedülálló módon, szabadföldi tartamkísérletben vizsgálták. A nagy mennyiségben a talajba juttatott, potenciálisan káros mikroelemek talaj – kultúrnövény / gyomnövény – állat rendszerben mutatott viselkedését és feldúsulását állapították meg [33, 34]. Eredményeiket a károselemterhelés határértékeinek hazai jogszabályokban rögzítésekor vették figyelembe.

A 2010. október 4-én bekövetkezett ajkai vörösiszap-katasztrófa több, mint egymillió köbméternyi erősen lúgos, maró hatású ipari hulladékot nagy területen terített szét. Hatásának talajvédelmi és ökotoxikológiai feltárását és elemzését elvégezték és eredményeit közreadták [35 - 39].

Talajbiológiai eredmények:

Pillangós növények (borsó, lucerna, lóbab és szója) magoltásához *Rhizobium* baktériumtörzsekből 'Baktolog' néven nagyhatékonyságú oltóanyagot fejlesztettek ki [40]. A készítmény nehézagyag és savas kémhatású talajok kivételével, megfelelő foszforellátottság mellett, a pillangós virágú növénykultúrákban hatékony [41].

Megállapították, hogy a fotoszintetizáló ciano-baktériumok és a zöldalgák a szénmegkötésén túl növényi hormontermelésükkel is jelentősen járul(hat)nak hozzá a termesztett növények fejlődéséhez [42].

A szárazföldi növényfajok 90%-ával szimbiózist alkotó arbuskuláris mikorrhiza (AM) gombakutatásuk igazolta, hogy azok segítik a gazdanövény víz- és foszforfelvételét a talajból. A lucerna és szója pillangós növények fejlődésében bizonyították a Rhizobium és az AM gombák egymást kölcsönösen erősítő, azaz szinergista hatását [43, 44].

A 'talajminőség' biológiai jellemzéséhez a mikrobiális biomassza, aktivitás és diverzitás biológiai paraméterek meghatározására fejlesztettek ki laboratóriumi módszereket [45].

A nehézfémekkel szennyezett talajok kármentesítése növényekkel a fitoremediáció. Ehhez különböző növényeket és saját izolálású, nehézfém-toleráns, mikorrhiza gombákat alkalmaztak [46 - 48].

Szikes talajokat tanulmányozva megállapították, hogy azok mikrobiális közössége rendkívül faj- és egyedgazdag. A mikrobiális összetételt a talaj kémhatása és sótartalma jelentősen befolyásolja. A szikeseken élő AM gombák a növények szélsőséges nedvességviszonyok közötti túlélését is segítik [49 - 51]. A szikeseken élő sótűrő baktériumok és AM gombák genetikai és faji adatait nemzetközi adatbázisba is feltöltötték.

Eltérő gazdálkodási módokban (kukorica monokultúra vs. vetésforgó, organikus vs. hagyományos művelés) a talajmikrobióta összetételének változását állapították meg molekuláris mikrobiológiai módszerekkel [52 - 54].

A talaj mezo-fauna automatikus észlelésére szolgáló „Edapholog” szondarendszert fejlesztettek ki. A ZooLog Online Monitoring-rendszer a növény- és talajvédelemben fontos rovarok populációjáról szolgáltat valós idejű, távoli elérésű adatokat [55]. Az eszközzel homokpuszta gyepben a szárazság rovarpopulációra gyakorolt degradációs hatását igazolták [56].

Kimutatták, hogy az urbanizáció a talajbióta jelentős fajszám csökkenését (homogenizációját) okozta városi talajokban [57].

A növénytermesztési szakterület kiemelkedő eredményei:

A klímaváltozás hatásainak és az arra adandó szakmai válaszok kidolgozásának a VAHAVA programban elért kutatási eredményei alapját képezték a NÉS (Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia) kidolgozásának [58 - 60].

Talajművelési rendszert dolgoztak ki, amely víztakarékos, energiatakarékos és egyidejűleg alkalmas a szénmegkötés (carbon sequestration) szempontjainak megvalósítására. A módszert a hazai szántóterület jelentős részén, valamint a Kárpát-medence több országában, Horvátországban, Szerbiában és Szlovákiában is alkalmazzák [61-64].

A fenntartható, multifunkciós növénytermesztés elemeinek egyedi vizsgálata és e tényezők közötti interaktív hatások kutatási eredményeinek hasznosítása olyan különböző intenzitású növénytermesztési modellek kidolgozását tették lehetővé, amelyek elősegíthetik a magyar növénytermesztés jövőbeli területi optimalizációját, ezáltal versenyképességének hatékony növelését [65, 66].

Hazai növénytaplálási, trágyázási, növénytermesztési, talajművelési Tartamkísérleti Katasztert /nyilvántartást/ készítettek. A tartamkísérleti katasztert az illetékes akadémiai bizottság a mezőgazdasági kormányzat rendelkezésére bocsajtotta [67-69].

A precíziós gazdálkodás bevezetéséhez szükséges helyspecifikus és fajspecifikus termesztéstechnológiai paramétereket dolgoztak ki a növénytaplálás és a növényvédelem területén őszi búza (*Triticum aestivum* L.) és kukorica (*Zea mays* L.) növényfajokra [70, 71].

A precíziós gazdálkodás műszaki, alkalmazástechnikai alapjainak kidolgozására a PREGA együttműködés keretei között folyik. Ebben az elmúlt évek során számos hiperspektrális,

digitális és távérzékelési módszert dolgoztak ki, amelyek folyamatosan bekerülnek a gazdálkodási gyakorlatba [72].

Az elmúlt három évtized során központi helyet foglalt el a növénytermesztési kutatásokban a megújuló energiaforrások kutatása. Kidolgozták a rövid vágásfordulójú fás szárú energiaültetvények technológiáját a fűz *Salix alba*, *Salix viminalis x triandra* és a nyár *Populus ssp.* fajok termesztésére [73-75]. Ugyancsak technológia formájában közreadták az energianád *Miscanthus ssp.* és az olasz nád *Arundo donax* termesztésével [77], tápanyag-utánpótlásával, toxikus elem akkumulációjával, hulladék- és melléktermék hasznosításával [78] kapcsolatos kutatási eredményeiket.

Az energetikai célú rövid vágásfordulójú fás szárú növények termesztésének környezetvédelmi célú termesztési kutatásai során sikeresen alkalmazták az ültetvénytelepítést a 2010. évi vörösiszap-katasztrófa során végzett rekultivációban. Az alkalmazott termesztéstechnológia lehetővé tette több száz hektár terület rehabilitációját.

A megújuló energiatermeléssel kapcsolatos kutatások közvetlen gazdasági eredményt adó területe a mezőgazdasági szántóföldi termények bázisán előállított bioüzemanyagok előállítási lehetőségeinek tanulmányozása. Termesztéstechnológiai és energetikai vizsgálatokat végeztek nagy keményítőtartalmú kukorica hibridek, illetve azok feldolgozása révén bioetanol, illetve annak konverziójával ETBE (etil-tercier-butil-éter) hatékony előállítására [76].

Szabadföldi tartamkísérletek keretei között tanulmányozták a szénmegkötés (carbon sequestration) alakulását termesztett növényfajok életműködése során. Elemezték a szervesanyag-képződés és -megkötés, valamint a szénátalakítás (konverzió) élettanilag lehetséges módjait [79, 80]. A kapott tudományos eredmények jelentős mértékben hozzájárultak a klímavédelmi technológiák kialakításához, különösen az éghajlatvédelem (a mitigation) területén.

A növénytermesztési kutatásokba egy teljesen új agrotechnikai irányzatot vezetettek be a szántóföldi kísérletek több paraméteres növekedés analízisére [81, 82]. A növekedés analízis különböző mutatóinak, valamint a kiegészítő agronómiai, ökológiai és fiziológiai méréseknek az alkalmazásával gyors és pontos válaszokat kaptak az agronómiai reakciók időbeni folyamatáról és a termésprodukcióval való kapcsolatáról.

Jelentős eredmények születtek a kutatómódszertan területén, a kísérletmethodikai és biometriai módszerek meghonosításában és fejlesztésében, valamint a tartamkísérletek többváltozós értékelési módszereinek fejlesztésében. Hiánypótló a "Növénytermesztési kísérletek tervezése és értékelése" c. könyv [83], amely számítógépes programok segítségével mutatja be a növénytermesztési kísérletek értékelési módszereit.

A növénytáplálás agronómiai és agrárkörnyezet-védelmi aspektusai:

Kidolgozták a környezetvédelmi szempontú növénytáplálás talaj- és növényvizsgálati, valamint ellenőrzési módszereit [84-86].

Trágyázási tartamkísérleteik adatbázisán nyert összefüggések felhasználásával kidolgozták a „Pro Planta” Költség- és Környezetkímélő Trágyázási Szaktanácsadási Rendszert és Szoftvert [87-89], amely elnyerte a 2007. évi Innovációs Nagydíjat.

Országos adatbázisok, valamint a növénytáplálási gyakorlat szintézisével segítették a hazai agrárkörnyezet-védelmi jogszabályalkotást [90].

EU-csatlakozásunk kapcsán agronómiai és agrárkörnyezet-védelmi szempontból értékelték az EU27 országok mezőgazdasági nitrogén és foszfor (NP) forgalmát. Felhívták a figyelmet az

európai országok NP felhasználása közötti különbségekből adódó környezetvédelmi, szociális és vidékfejlesztési problémákra [91].

Szabadföldi tartamkísérletekben feltárták egyes gyomnövényfajok szerepét a természetű növény tápanyagellátásával és talajművelésével összefüggésben. A tápanyagellátás hatását igazolták a gyomflóra faji összetételére, dominancia viszonyaira és biomassza képzésére [92]. A forgatásos művelés gyomszabályozó, a minimális művelés évelő gyomnövényeket felszaporító hatását mutatták ki.

Széleskörű hazai együttműködésben feltárták az ürömlévelű parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia* L.) tápanyag- és vízfelvételi sajátosságait, valamint védekezési programot dolgoztak ki ellenük [93, 94].

Hivatkozások

- [1] Stefanovits, P., Michéli, E. (szerk.) (2005): A talajok jelentősége a 21. században. *Magyarország az ezredfordulón. Stratégiai tanulmányok a Magyar Tudományos Akadémián II. Az agrárium helyzete és jövője*. MTA Társadalomkutató Központ, Budapest.
- [2] Michéli, E., P. Schad, O. Spaargaren, F. Nachtergaele, D. Dent (eds.) (2006): *World Reference Base for Soil Resources*. 2nd Edition. FAO/ISRIC/IUSS, Rome, 130 p.
- [3] Hughes, P., McBratney, A., Huang, J., Minasny, B., Hempel, J., Palmer, D., Micheli, E. (2017): Creating a novel comprehensive soil classification system by sequentially adding taxa from existing systems. *Geoderma Regional* 11: 123-140.
- [4] Michéli, E. (2011): A talajképző folyamatok megjelenése a diagnosztikai szemléletű talajosztályozásban. *Agrokémia és Talajtan* 60: 17-32.
- [5] Michéli, E., Fuchs, M., Láng, V., Szegi, T., Kele, G. (2014): Methods for modernizing the elements and structure of the Hungarian Soil Classification System. *Agrokémia és Talajtan* 63: 69-78.
- [6] Michéli, E., Csorba, Á., Szegi, T., Dobos, E., Fuchs, M. (2019): The soil types of the modernized, diagnostic based Hungarian Soil Classification System and their correlation with the World reference base for soil resources. *Hung. Geogr. Bull.* 68: 109-117.
- [7] Makó, A., Tóth, B., Hernádi, H., Farkas, Cs., Marth, P. (2010): Introduction of the Hungarian detailed soil hydrophysical database (MARTHA) and its use to test external pedotransfer functions. *Agrokémia és Talajtan* 59: 29–39.
- [8] Cseresnyés, I., Takács, T., Sepovics, B., Kovács, R., Füzy, A., Parádi, I., Rajkai, K. (2019): Electrical characterization of the root system: a noninvasive approach to study plant stress responses. *Acta Physiol. Plant.* 41: 169. DOI:10.1007/s11738-019-2959-x,
- [9] Cseresnyés, I., Rajkai, K., Takács, T. (2016): Szójafajták gyökérnövekedésének és szárazságtűrésének in situ vizsgálata elektromos kapacitás méréssel. *Agrokémia és Talajtan* 65: 243-257.
- [10] Fodor, N., Sándor, R., Orfanus, T., Lichner, L., Rajkai, K. (2011): Evaluation method dependency of measured saturated hydraulic conductivity. *Geoderma* 165: 60-68.
- [11] Tamás J, Riczu P (2012): Eljárás gyümölcsfák párolgási felületének (lombozat méretének és topológiájának) meghatározására háromdimenziós lézeres pontfelhő alapján, főként precíziós kertészeti technológiák munkagépei munkafolyamatainak koordinálására. Szabadalmi oltalom.
- [12] Tóth, T. Várallyay, Gy. (2002): Past, present and future of the Hungarian classification of salt-affected soils. In: Micheli, E, Nachtergaele, FO, Jones, RJA, Montanarella L. (eds.): *Soil Classification 2001*. European Soil Bureau, Research Report No.7., European Communities, Luxembourg, pp. 125-135.
- [13] Douaik, A, Van Meirvenne, M, Tóth, T (2005): Soil salinity mapping using spatio-temporal kriging and bayesian maximum entropy with interval soft data. *Geoderma* 128: 234-248.
- [14] Douaik, A., Van, Meirvenne, M., Tóth, T. (2007): Statistical methods for evaluating soil salinity spatial and temporal variability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71:1629-1635.
- [15] Pásztor, L., Szabó, J., Bakacsi, Zs., Laborczi, A. (2013): Elaboration and applications of spatial soil information systems and digital soil mapping at the Research Institute for Soil

Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences. *Geocarto Internat.* 28: 13–27.

[16] Németh, T., Neményi, M., Harnos, Zs. (szerk.) (2007): *A precíziós mezőgazdaság módszertana*. JATE Press, MTA TAKI, Szeged

[17] Pásztor, L., Laborczi, A., Bakacsi, ZS., Szabó, J., Illés, G. (2018): Compilation of a national soil-type map for Hungary by sequential classification methods. *Geoderma* 311: 93-108.

[18] Pásztor, L., Laborczi, A., Takács, K., Illés, G., Szabó, J., Szatmári, G. (2020): Progress in the elaboration of GSM conform DSM products and their functional utilization in Hungary, *Geoderma Regional* 21: Paper e00269

[19] Szatmári, G., Pásztor, L. (2019): Comparison of various uncertainty modelling approaches based on geostatistics and machine learning algorithms, *Geoderma* 337: 1329-1340.

[20] Szatmári, G., Pirkó, B., Koós, S., Laborczi, A., Bakacsi, ZS., Szabó, J., Pásztor, L. (2019): Spatio-temporal assessment of topsoil organic carbon stock change in Hungary. *Soil Tillage Res.* 195: Paper: 104410

[21] Tóth, G., Hermann T., SZatmári, G., Pásztor, L. (2016): Maps of heavy metals in the soils of the European Union and proposed priority areas for detailed assessment. *Sci. Total Environ.* 565: 1054-1062.

[22] Illés, G., Sutikno, S., Szatmári, G., Sandhyavitri, A., Pásztor, L., Kristijono, A., Molnár, G., Yusa, M., Székely, B. (2019): Facing the peat CO₂ threat: digital mapping of Indonesian peatlands—a proposed methodology and its application, *J. Soils Sediments* 19: 3663-3678.

[23] http://epa.oszk.hu/00600/00691/00157/pdf/EPA00691_mtud_2016_10.pdf

[24] Tóth, G., Gardi, C., Bódis, K. (2013): Continental-scale assessment of provisioning soil functions in Europe. *Ecol. Process.* 2: 32. DOI: 10.1186/2192-1709-2-32

[25] Kádár, I. (1998): *A szennyezett talajok vizsgálatáról. Kármentesítési kézikönyv. 2.* Környezetvédelmi Minisztérium, Budapest

[26] Anton A. (1999): *Talajszennyeződés, talajtisztítás.* Környezetügyi műszaki gazdasági tájékoztató: 5. KGI. Budapest

[27] Várallyay, Gy. (1993): Soil data bases for sustainable land use - Hungarian case study. In: Greenland, D.J., Szabolcs, I. (eds.): *Soil Resilience and Sustainable Land Use.* CAB International, Wallingford, pp. 469-495.

[28] TIM Szakértői Bizottság (1995): *Talajvédelmi Információs Monitoring Rendszer Módszertan,* Budapest.

[29] Makó, A., Elek, B. (2006): Comparison of the soil extraction isotherms of soil samples saturated with nonpolar liquids. *Water Air Soil Poll.* 6: 331–342.

[30] Makó A., Hernádi H. (2012): *Kőolajszármazékok a talajban. Talajfizikai kutatások.* Pannon Egyetem, Veszprém

[31] Hernádi, H., Makó, A. (2014): Predicting soil nonaqueous phase liquid retention with pedotransfer functions. *Agrokémia és Talajtan* 63: 9–18.

[32] Kádár, I. (1995): *A talaj-növény-állat-ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel* Magyarországon. KTM-MTA TAKI, Budapest

- [33] Kádár, I. (2012): *A főbb szennyező mikroelemek környezeti hatása*. MTA TAKI, Akaprint, Budapest
- [34] Anton, A., Rékási, M., Uzinger, N., Széplábi, G., Makó, A. (2012): Modelling the potential effects of the Hungarian red mud disaster on soil properties. *Water Air Soil Pollut.* 223: 5175–5188.
- [35] Rékási, M., Feigl, N., Uzinger, K., Gruiz, A., Makó, A., Anton (2013): Effects of leaching from alkaline red mud on soil biota: modelling the conditions after the Hungarian red mud disaster. *Chem. Ecol.* 29: 709–723.
- [36] Makó, A., Anton, A., Csitári, G., Rékási, M., Uzinger, N., Barna, Gy., Széplábi, G., Hernádi, H. (2014): Vörösiszappal szennyezett talaj fizikai tulajdonságainak vizsgálata modell oszlopkísérletben. *Agrokémia és Talajtan* 63: 203-222.
- [37] Uzinger, N., Rékási, Á.D., Anton, Koós, S., László, P., Anton, A. (2015]: Results of the clean-up operation to reduce pollution on flooded agricultural fields after the red mud spill in Hungary. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22: 1–9.
- [38] Filep, T., Rékási, M., Makó, A. (2015): Vörösiszappal szennyezett talajok kémhatása és sav-bázis pufferoló képessége barnaszéntartalmú talajjavító anyag alkalmazását követően. *Agrokémia és Talajtan* 64: 93-104.
- [39] Köves-Péchy, K., Bakondi-Zámory, É., Szegi, J., Szili-Kovács, T. (1989): A rhizobiumos oltás, mint környezetkímélő technológiai eljárás. *Agrokémia és Talajtan* 38: 235-238.
- [40] Köves-Péchy, K., Szegi, J., Szili-Kovács, T. (1993): Effect of ecological factors on rhizobial spreading and nitrogen-fixing activities in Hungarian soil types. *Zentralbl. Mikrobiol.* 148: 177-193.
- [41] Makra, N., Gell, G., Juhász, A., Soós, V., Kiss, T., Molnár, Z., Ördög, V., Vörös, L., Balázs, E. (2019): Molecular taxonomic evaluation of *Anabaena* and *Nostoc* strains from the Mosonmagyaróvár Algal Culture Collection. *S. Afr. J. Botany* 124: 80-86.
- [42] Takács, T., Cseresnyés, I., Kovács, R., Parádi, I., Kelemen, B., Szili-Kovács, T., Füzy, A. (2018): Symbiotic effectivity of dual and tripartite associations in soybean (*Glycine max* L. Merr.) cultivars inoculated with *Bradyrhizobium japonicum* and AM fungi. *Front. Plant Sci.* 9:1631. DOI:10.3389/fpls.2018.01631
- [43] Cseresnyés, I., Takács, T., Végh, K., R., Anton, A., Rajkai, K. (2012): Electrical impedance and capacitance method: a new approach for detection of functional aspects of arbuscular mycorrhizal colonization in maize. *Eur. J. Soil Biol.* 54: 25-31.
- [44] Szili-Kovács, T., Kátai, J., Takács, T. (2011): Mikrobiológiai indikátorok alkalmazása a talajminőség értékelésében. 1. Módszerek. *Agrokémia és Talajtan* 60: 273-286.
- [45] Biró, B., Füzy, A., Posta, K. (2010): Long-term effect of heavy metal loads on the mycorrhizal colonization and metal uptake of barley. *Agrokémia és Talajtan* 59: 175-184.
- [46] Simon, L., Biró, B., Széles, É., Balázs, S. (2007): Szelén fitoextrakciója és mikrobacsoportok előfordulása szennyezett talajokban. *Agrokémia és Talajtan* 56: 161-172.
- [47] Takács, T. (2012): Site-specific optimization of arbuscular mycorrhizal fungi mediated phytoremediation. In: Zaidi, A., Wani, PA, Khan MS (eds.): *Toxicity of Heavy Metals to Legumes and Bioremediation*. Springer, Vienna, pp. 179-202.
- [48] Biró, B., Villányi, I., Köves-Péchy, K. (2002): Abundance and adaptation level of some soil microbes in salt affected soils. *Agrokémia és Talajtan* 50: 99-106.

- [49] Füzy, A., Biró, B., Tóth, T., Hildebrandt, U., Bothe, H. (2008): Drought, but not salinity, determines the apparent effectiveness of halophytes colonized by arbuscular mycorrhizal fungi. *J. Plant Physiol.* 165: 1181-1192.
- [50] Mucsi, M., Csontos, P., Borsodi, A., Krett, G., Gazdag, O., Szili-Kovács, T. (2017): A mikrorespirációs (MicroResp™) módszer alkalmazása apajpusztai szikes talajok mikrobaközösségeinek katabolikus aktivitás mintázatának vizsgálatára. *Agrokémia és Talajtan* 66: 165-179.
- [51] Mayer, Z., Sasvári, Z., Szentpéteri, V., Pethőné Rétháti, B., Vajna, B., Posta, K. (2019): Effect of long-term cropping systems on the diversity of the soil bacterial communities. *Agronomy* 9: 878. DOI: [10.3390/agronomy9120878](https://doi.org/10.3390/agronomy9120878)
- [52] Sasvári, Z., Hornok, L., Posta, K. (2011): The community structure of arbuscular mycorrhizal fungi in roots of maize grown in a 50-year monoculture. *Biol. Fertil. Soils* 47: 167-176.
- [53] Gazdag, O., Kovács, R., Parádi, I., Füzy, A., Ködöböcz, L., Mucsi, M., Szili-Kovács, T., Inubushi, K., Takács, T. (2019): Density and diversity of microbial symbionts under organic and conventional agricultural management. *Microbes Environ.* 34: 234-243.
- [54] Dombos, M., Kosztolányi, A., Szlávecz, K., Gedeon, C., Flórián, N., Groó, Z., Dudás, P., Bánszegi, O. (2017): EDAPHOLOG monitoring system: Automatic, real-time detection of soil microarthropods. *Meth. Ecol. Evol.* 8: 313-321.
- [55] Flórián, N., Ladányi, M., Ittész, A., Kröel-Dulay, G., Ónodi, G., Mucsi, M., Szili-Kovács, T., Gergőcs, V., Dányi, L., Dombos, M. (2019): Effects of single and repeated drought on soil microarthropods in a semi-arid ecosystem depend more on timing and duration than drought severity. *PLoS One* 14: e0219975.
- [56] Epp Schmidt, D.J., Pouyat, R.V., Setälä, H., Szlavecz, K., Yesilonis, I.D., Cilliers, S., Hornung, E., Kotze, D.J., Dombos, M., Yarwood, A.S. (2017): Urbanization erodes ectomycorrhizal fungal diversity and may cause microbial communities to converge. *Nat. Ecol. Evol.* 1: 0123. DOI: [10.1038/s41559-017-0123](https://doi.org/10.1038/s41559-017-0123)
- [57] Láng, I., Csete, L., Jolánkai, M. (eds.) (2007): *A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. A VAHAVA Jelentés.* Szaktudás Kiadó Ház, Budapest.
- [58] Láng, I., Csete, L., Faragó, T., Jolánkai, M., Mika, G. (2009): Increasing preparedness for climate change in Hungary. In: *Climate sense.* WMO, Tudor Rose, Leicester. 83-86 pp.
- [59] Jolánkai, M. (2010): Agriculture, soil management and climate change. In: Faragó, T., Láng, I., Csete, L. (eds.): *Climate change and Hungary: Mitigating the hazard and preparing for the impacts – the VAHAVA Report.* Hungarian Academy of Science, Budapest. 38-45 pp.
- [60] Birkás, M., Jolánkai, M., Kisić, I., Stipesević, B. (2007): Soil tillage needs a radical change for sustainability. In: Koprivanac, N., Kusić, H. (eds.): *Environmental Management, Trends and Results.* Inter-Ing, Zagreb, 147-152 pp.
- [61] Jug, D., Brozović, B., Đurđević, B., Jug, I., Lipiec, J., Birkas, M., Vukadinović, V. (2019): Effect of conservation tillage on crop productivity and nitrogen use efficiency. *Soil Till. Res.* 194: DOI: [10.1016/j.still.2019.104327](https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104327)
- [62] Dekemati, I., Simon, B., Vinogradov, S., Birkás, M. (2019): Effect of six different tillage treatments on soil physical properties, earthworm abundance and crop yield in Hungary. *Soil Till. Res.* DOI: [10.1016/j.still.2019.104334](https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104334)

- [63] Bogunović, I., Kovács, G.P., Dekemati, I., Kisić, I., Balla, I., Birkás, M. (2019): Long-term effect of soil conservation tillage on soil water content, penetration resistance, crumb ratio and crusted area. *Plant Soil Environ.* 65: 442-448.
- [64] Sárvári, M., Pepó, P. (2014): Effect of production factors on maize yield and yield stability. *Cereal Res. Commun.* 42: 710-720.
- [65] Széles, A., Nagy, J., Rátonyi, T., Harsányi, E. (2019): Effect of differential fertilisation treatments on maize hybrid quality and performance under environmental stress conditions in Hungary. *Maydica* 64: 1-14.
- [66] Kismányoky, T., Jolánkai, M. (2009): A magyarországi tartamkísérletek. In: Debreczeni B-né, Németh T. (eds.) *Az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OMTK) kutatási eredményei (1967-2001)*. Akadémiai Kiadó, Budapest. 25-34 pp.
- [67] Micskei, G., Árendás, T., Berzsenyi, Z. (2012): Relationship between maize yield and growth parameters in a long-term fertilization experiment. *Acta Agron. Hung.* 60: 209-219.
- [68] Kismányoky, T. (2018): Long term field experiments in the crop production and agroecology. *Acta Agr. Debreceniensis* 267-272 pp.
- [69] Németh, T., Neményi, M., Harnos, Zs. (eds.) (2007): *A precíziós mezőgazdaság módszertana*. JATE Press, Szeged. 239 p.
- [70] Tarnawa, Á., Kassai, M.K., Eser, A., Kempf, L., Jolánkai, M. (2017): Precíziós módszerek alkalmazása a szántóföldi növénytermesztésben. In: Milics G. (ed.): *Precíziós gazdálkodás*. Opal Média és Kommunikáció Kiadó, Budapest, 82-84 pp.
- [80] Milics, G. (ed.) (2018): *Prega Science Scientific Conference on Precision Agriculture and Agro-Informatics*. Agroinform Média, Budapest, 59 p.
- [81] Gyuricza, Cs. (2007): Cultivating woody energy crops for energetic purposes. *Biowaste* 2: 25-32.
- [82] Gyuricza, Cs., Hegyesi, J., Kohlheb, N. (2011): Rövid vágásfordulójú fűz (*Salix* sp) energiaültetvény termesztésének tapasztalatai és életciklus elemzésének eredményei. *Növénytermelés* 60: 45-65.
- [83] Junek, N., Mikó, P., Kovács, G., Balla, I., Gyuricza, Cs. (2013): Biomassza vizsgálatok egy kedvezőtlen termőhelyi körülmények között létesített energiafűz ültetvényben. *Növénytermelés* 62: 5-18.
- [84] Jolánkai, M., Nyárai, H. F., Farkas, I., Szentpétery, Z. (2007): Agronomic impacts on energy crop performance. *Cereal Res. Commun.* 35: 537-541.
- [85] Simon, L. (2017): Az olasz nád (*Arundo donax* L.) termesztése és hasznosítása. *Növénytermelés* 66: 89-109.
- [86] Simon, L., B., Szabó, M., Szabó, Gy., Vincze, Cs., Varga, Zs., Uri, J., Koncz (2013): Effect of various soil amendments on the mineral nutrition of *Salix viminalis* and *Arundo donax* energy crops. *Eur. Chem. Bull.* 2: 18-21.
- [87] Jolánkai, M., Kassai, K., Nyárai, H.F., Tarnawa, Á., Balla, I., Szentpétery, Zs. (2013): Carbon sequestration of grain crop species influenced by nitrogen fertilization. *Hung. Agric. Eng.* 24: 23-26.
- [88] Kassai, M. K., Pósa, B., Tarnawa, Á., Nyárai, H.F., Jolánkai, M. (2016): The contribution of field crops an N fertilization to soil organic matter. *Növénytermelés*, 65: (Suppl.) 167-170.

- [89] Berzsenyi, Z., Győrffy, B., Lap, D.G. (2000): Effect of crop rotation and fertilisation on maize and wheat yields and yield stability in a long-term experiment. *Eur. J. Agron.* 13: 225-244.
- [90] Berzsenyi, Z., Tokatlidis, I.S. (2012): Density dependence rather than maturity determines hybrid selection in dryland maize production. *Agron. J.* 104: 331-336.
- [91] Berzsenyi, Z. (2015): *Növénytermesztési kísérletek tervezése és értékelése*. Agroinform, Budapest, 587 p.
- [92] Buzás, I. (1993): *Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszertan. I. A talaj fizikai, vízgazdálkodási és ásványtani vizsgálata*. INDA 4231 Kiadó, Budapest
- [93] Németh, T. (1996): *Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma*. MTA TAKI, Budapest, 384 p.
- [94] Kovács, G.J., Csathó, P. (2005): *A magyar mezőgazdaság elemforgalma 1901 és 2003 között*. MTA TAKI, Budapest.
- [95] Kádár, I. (1991): *A növénytáplálás alapelvei és módszerei*. MTA TAKI, Budapest. 398 p.
- [96] Csathó, P., Árendás, T., Fodor, N., Németh, T. (2009): Evaluation of different fertilizer recommendation systems on various soils and crops in Hungary. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 40: 1689-1711.
- [97] Németh, T. (2006): Application of the Bray-Mitscherlich equation approach for economically and environmentally sound fertilization of field crops in Hungary. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 37: 2227-2247.
- [98] Árendás, T., Csathó, P. (2002): Comparison of the effect of equivalent nutrients given in the form of farmyard manure or fertilizers in Hungarian long-term field trials. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 33: 2861-2878.
- [99] Csathó, P., Radimsky, L. (2009): Two worlds within EU27: sharp contrasts in organic and mineral NP use, NP balances and soil P status. Widening and deepening gap between Western and Central Europe. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 40: 999-1019.
- [100] Lehoczky, É. (2004): A növekvő adagú nitrogén ellátás hatása a parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia* L.) növekedésére. *Magyar Gyomkutatás és Technológia* 5: 32-41.
- [101] Kőmíves, T., Béres, I., Reisinger, P., Lehoczky, É., Berke, J., Tamás, J., Páldy, A., Csornai, G., Nádor, G., Kardeván, P., Mikulás, J. (2006): A parlagfű (*Ambrosia artemisiifolia* L.) elleni integrált védekezés új stratégiai programja. *Magyar Gyomkutatás és Technológia* 7: 5-51.
- [102] Reisinger, P., Lehoczky, É., Nagy, S., Kőmíves, T. (2004): Database-based precision weed management. *Zeitschr. Pflanzenkrankh. Pflanzensch.* 19: 467-472.