

A talaj penetrációs ellenállásának értékelése különböző talajművelési rendszerekben

SOJNÓCZKI ISTVÁN - NAGY JÁNOS

Debreceni Egyetem MÉK

Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen

Összefoglaló

A hagyományos talajművelési rendszerek mellett megjelentek a biológiára jobban alapozó művelési rendszerek. Különböző tudományos eredmények felhasználásával és a műszaki technológiai lehetőségek használatával új talajművelési rendszerek fejleszthetők. Vizsgálatunkat hat éve kezdtük, ebből az elmúlt két év eredményeit mutatjuk be. A vizsgálatban azonos termőhelyen négy különböző talajművelési rendszert állítottunk be. A penetrációs ellenállás mérése a terepi hatások értékelésének gyakori technikája és a talajművelési rendszerek talajra gyakorolt hatásai kiértékelhetők segítségével.

Méréseink szerint a hagyományos forgatásra alapozó művelési rendszerek alapjaiban eltérő struktúrát alakítanak ki az 50 cm-ig terjedő talaj szelvényben, mint a vizsgált három különböző forgatás nélküli művelési mód.

Kulcsszavak: kukorica, penetrációs ellenállás, talajművelés, talajnedvesség-tartalom

Evaluation of soil penetration resistance in different tillage systems

I. SOJNÓCZKI - J. NAGY

University of Debrecen, Faculty of Agricultural and Food Sciences and
Environmental Management,
Institute of Land Use, Engineering and Precision Farming Technology, Debrecen

Summary

In addition to traditional tillage systems, more biologically based farming systems have emerged. New tillage systems can be developed using various scientific results and technical technological possibilities. This research started six years ago and the results of the last two years are presented here. In the examination, four different tillage systems have been established on the same site. Measuring penetration resistance is a common technique for evaluating field effects and the effects of tillage systems on soil can be evaluated using this value.

The performed measurements show that conventional tillage systems based on ploughing develop a fundamentally different structure in the soil section up to 50 cm than the three different no-tillage systems examined.

Keywords: maize, penetration resistance, tillage, soil moisture content

Bevezetés

A hagyományos talajművelési rendszerek mellett megjelentek a biológiára jobban alapozó művelési rendszerek, melyek a műszaki technológiai lehetőségek bővülésével kaptak lendületet. Ösztönzőként hat a kedvezőtlen éghajlati hatásokhoz való alkalmazkodás kényszere, valamint a precíziós mezőgazdaság térnyerése. A helyi viszonyokhoz való adaptáció nagyon fontos, vagyis a klíma, talaj, alkalmazható technológiai rendszer összhangja (Nagy 2011, Rácz *et al.* 2021ab, Khatibi 2022, Nyéki és Neményi 2022).

Precíziós termelés technológiájával megtermelhető a környezet védelme mellett a megfelelő mennyiségű és minőségű termék (Pepó 1997, Széles és

Huzsvai 2020, Nagy 2021, Rácz *et al.* 2021a). Az elmúlt évtizedben a talajminőség romlása miatt a korábbi talajművelési feladatok újjakkal párosultak (Birkás 2000). A talaj állapotának folyamatos romlása miatt évente 50 milliárd eurót veszít az Európai Unió a Talaj Misszióját előkészítő tudományos jelentés szerint (EC 2020).

Magyarország mező- és erdőgazdasági területeinek közel 60%-a érintett valamely degradációs folyamatban (Szabó 2012). A talaj fizikai minőségének romlása, a megmunkált talaj túlzott tömörödése a termés csökkenés elsődleges okai között vannak (Carter 1991, Ball *et al.* 1994).

A talaj szerkezetének vizsgálata és megfelelő minősítése nem könnyű feladat, mivel a talaj nagyon heterogén és összetett közeg. A termőtalaj szerkezetének értékelésére számos módszer létezik. Ezek egy része vizuális jellegű. Kiásunk egy adott talajmintát és azt minősítjük. Ilyen módszerek a VESS (Ball *et al.* 2007), hasonló elveken alapszik a VSA – vizuális talajértékelési módszer (Shepherd 2009). Vannak műszerekkel mért adatokra alapuló minősítési módszerek. Ilyen a penetrométerrel mért behatolási ellenállás, melyet széles körben használnak a talajművelés hatásának mutatójaként (Salem *et al.* 2015).

Sok kutató bizonyította, hogy a művelési mód befolyásolja a talaj fizikai tulajdonságait mind a termőtalajokban, mind az altalajokban (Stelluti 1997, Alakukku 1998, Gao 2016).

A forgatás nélküli művelési rendszerekről úgy gondolják a termelők, hogy alkalmazásukkal alacsonyabb a talajhőmérséklet és nedvesebb talajviszonyokat, keményebb talajállapotot teremtenek, mint a hagyományos talajművelési rendszerek (Licht és AlKaisi 2005).

A talajművelési rendszerek talajra gyakorolt hatásainak pontos mérésére többféle lehetőség van. A legszemlétebben a talajtömörödés mérésére a térfogatsűrűség és a penetrációs ellenállás szolgál (Mehari *et al.* 2005, Afzalinia *et al.* 2014). A paraméterek összehasonlításával érzékelhető, hogy az intenzív talajbolygatást végző művelési rendszerekhez képest, a forgatás nélküli talajművelési rendszerekben a talaj fizikai és biológiai tulajdonságai eltérőek (Alvarez és Steinbach 2009).

A talajművelési rendszer hazánkban elfogadott fogalma: egy meghatározott területen egy vagy több növény sikeres és gazdaságos termesztéséhez szükséges talajművelési eljárások összessége (Nyíri 1993, Lal *et al.* 2007, Luna *et al.* 2012).

Különböző talajművelési rendszereket különböztethetünk meg különböző elvek alapján, így rendszerezhető a növények vetésideje, a talajtípusok, a különleges feladatok, valamint a szerzők által kidolgozott módszerek szerint (Nyíri 1993). A nemzetközi gyakorlatban a talaj bolygatásának formája, intenzitása és a felszínen maradó szármaradvány fedettség alapján osztályozzák az egyes rendszereket (CTIC 2009). A kukorica termesztés során alkalmazható talajművelési rendszerek fő osztályozása ezen elv szerint az 1. ábrán került összefoglalásra.

1. ábra. Talajművelési rendszerek összefoglalása

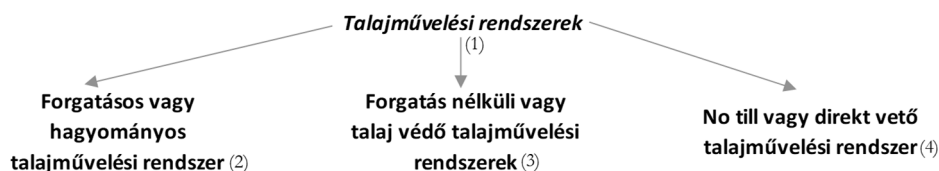


Figure 1. Summary of tillage systems. (1) Tillage systems, (2) Conventional tillage system, (3) Protective tillage systems, (4) No-till or direct sowing tillage systems

A forgatásos vagy hagyományos (conventional) talajművelési rendszer meghatározása is változik az egyes országoktól függően. Európában jellemzően a forgatásos sok menetes talajművelési rendszerekre vonatkozik ez a gyűjtő fogalom (Mäder 2012).

Számos talajművelési rendszer esetében a konkrét műveletek „elsődleges” - vagy alpművelési - és „másodlagos” műveletekre oszthatók (Morris 2010). Így a talajművelés során alkalmazható művelő eszközök is feloszthatók alpművelő eszközökre, vagy egyéb feladatokat ellátó talajművelő eszközökre (Carter 2003).

Hagyományos vagy forgatásos talajművelési rendszer alpművelő eszköze az eke, vagy nagy szögállású lazító, vagy gömbsüveges tárcsa is lehet (Carr 2012). Ezen eszközöknek jelentős keverő, forgató hatásuk van, munkájuk révén a talaj felszínének feketére munkálása valósulhat meg. A hagyományos talajművelési rendszer további jellemzője a sokmenetes munkafolyamat. A sok menet folytán intenzív a talaj bolygatása és így a szerkezetdegradáció. Ezen technológia alkalmazásának velejárója a talaj felszíni rétegének elporosítása is lehet.

A forgatás nélküli vagy talajvédő művelési rendszerek fejlesztése a különböző talajművelési eszközök fejlődésével párhuzamosan alakultak ki (Cannell 1994). Az elvek alapvetően az intenzív talajbolygatás okozta talajdegradáció csökkentése mellett az ésszerű energiateljesítmény felhasználás alkalmazását célozzák. Ezen elvek mentén többféle rendszer alakult ki (2. ábra).

2. ábra. Forgatás nélküli talajművelési rendszerek

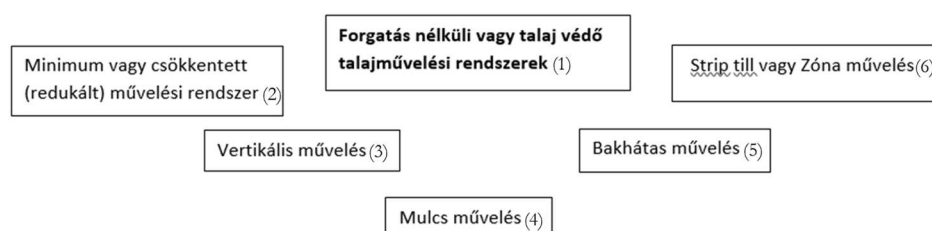


Figure 2. Tillage systems without ploughing. (1) Protective tillage systems, (2) Reduced tillage system, (3) Vertical tillage, (4) Mulch tillage, (5) Furrow tillage, (6) Strip tillage

A forgatás nélküli vagy talajvédő művelési rendszerek célja a fenntartható talaj- és vízgazdálkodás a mezőgazdasági növénytermesztésben. A rendszerek használata az eredményes gazdálkodás mellett, fenntartható is, megóvja a környezetet (FAO 2007).

Amikor a forgatás nélküli talajművelési technológiai megoldások kialakulását vizsgáljuk akkor hazánkban az első kísérleteket az ésszerű szántás nélküli talajművelés témakörében Baross László (Baross 1909) és Manninger Gusztáv Adolf (Manninger 1938) végezték. Számos kutató készített tanulmányokat a két világháború közt az ésszerű, vagy akkor korszerűnek mondott talajművelésről, de azok nem voltak átütő erejűek és nem formálták át a szántásra alapozott hagyományos talajművelési kultúrát. A technológiaváltást a gazdaság szerkezete és a második világháború utáni átalakulás sem segítette. A '40-es, '50-es években kötelezővé tették a szántást, mivel azt a termelés alapjának tekintették.

Ha nemzetközi kitekintést alkalmazok, akkor a forgatás nélküli talajművelési gyakorlatok hosszabb időszak alatt alakultak ki talajművelési rendszerré. Az USA-ban a szántás elhagyását sürgető egyik korai törekvés a gömbsüveges tárcsa használatát javasolta (Faulkner 1943). Faulkner kutatásai bizonyították, hogy

talajeróziót csökkentette a talajfelszínen hagyott mulcs, és javult a tápanyagok hozzáférhetősége a növények számára.

Borst és Mederski 1957-ben kidolgozták a soros kultúrákban alkalmazható mulcsos talajművelési rendszer alapjait. Ez a technika kezdetben a talaj megmunkálását tárcsával vagy szántóföldi kultivátorral javasolta, és trágya vagy más szerves mulcsszórás alkalmazását írta elő általában a vetés után (Borst 1957). A talajtakaró javította a víz beszivárgását és csökkentette a talajerózió veszélyét. A talajtakarás fontosságát szem előtt tartva fejlesztették aztán tovább az elmúlt évtizedekben talajművelési rendszerré ezt a gyakorlatot.

1950-ben Poynor kifejlesztette az első kukorica direkt vetőgépet, mely alkalmas volt a vetett sor sávjának megművelésére és érintetlenül hagyta a sorközt (Poynor 1950). A gép a vetés mellett a műtrágya lehelyezését is lehetővé tette a sor mellé. Azonban a gyomirtási technológiák elterjedéséig ezeket a rendszereket nem alkalmazták a gazdálkodók nagyszámban. Az első gyomirtó hatóanyaga az atrazin volt 1959-ben (Triplett 1976). A gyomirtási technológiák rohamosan terjedtek és az első komplex forgatás nélküli technológiai leírás 1962-ben jelent meg Dow Chemical növényvédőszer gyártó vállalat kiadásában. Az első üzemi szinten működő no-till bemutató farm 1962-ben létesült az USA-ban. Ebben az időben a gépgyártók is elkezdtek a megfelelő berendezések fejlesztését. 1966-ban az Allis Chalmers bemutatta a bordázott csorosozlyás no-till vetőgépet (Phillips 1973).

Az 1985 és 1990 között hozott új mezőgazdasági törvények, amelyek a természetvédelmi előírások betartását támogatták, felismerték a forgatás nélküli és no-till gyakorlatok létfontosságú szerepét. Segítettek szabályozás szinten új technológiai rendszerek kialakításában és hozzájárultak azok gyorsabb elfogadásához a gazdálkodók körében (Thomas és Blevins 1996).

Az egyik jellemző talajművelési rendszer csökkentett, azaz redukált, vagy minimum talajművelési rendszer. A szakirodalmak felcserélve egymás helyettesítéseként hivatkoznak ezekre a megnevezésekre. Jellemzője ennek a rendszernek, hogy az alkalmazott talajművelési műveletek menetszám és művelési mélység szempontjából is csak a szükséges mértékre szorítkoznak. A munkaműveletek során komplex gépek alkalmazása folyik, amelyek egy menetben több műveletet megvalósítanak, például alapművelnek és ezzel egy menetben el is munkálják és le is zárják a talajt. Megjegyzem, hogy manapság a minimális talajművelés kifejezés okozza a legnagyobb zavart a

fogalom meghatározás során, mivel a növénytermesztéshez szükséges minimális művelés a nullától az elsődleges és másodlagos talajművelési műveletek teljes skálájáig terjed, a talaj tulajdonságaitól és a termesztett növényektől függően. Általában úgy határozzuk meg a minimális talajművelési rendszert, mint a növénytermesztéshez szükséges minimális talajbolygatást, mely teljesíti a talajművelési követelményeket a meglévő talaj- és éghajlati viszonyok mellett. Gyakran jelent minden olyan rendszert, amely kevés talajművelési követelményt támaszt.

A mulcsművelés olyan talajművelési rendszert, amely biztosítja a növényi maradványok maximális visszatartását a talaj felszínén, mulcsos talajművelésnek vagy mulcsos tarlóművelésnek nevezik. A talaj előkészítése úgy történik, hogy a növényi maradványok vagy más mulcsozó anyagok kifejezetten a felszínen vagy annak közelében maradnak. A mulcsos talajművelés során a talaj teljes felületen művelt, de olyan talajművelő eszközöket használnak, melyek minimális beforgató és keverő hatással rendelkeznek. Minden a táblán megvalósított munkaművelet a talaj felszínét fedő talajtakaró anyag megőrzését is szavatolja. Ennél a talajművelési rendszernél a takarónövények alkalmazása alapvető követelmény. Amikor egy gabonafélét egy vegyszeresen elpusztított takarónövény után maradó mulcsba vetünk, ezt mulcsvetésnek nevezzük. Ha a takarónövényt nem kezelik, vagy csak ideiglenesen terminálják, fejlődést lelassítják, az ilyen rendszert élő mulcsnak nevezzük. Ha a takarónövényt a vetési cikluson belül természetik mulcsozóanyag előállítására céljából, a rendszert ugaroltatásnak nevezik.

A vertikális művelés a 1990-es évek elején kialakult talajművelési rendszer. Alapelve az, hogy a mulcs meghagyása mellett a talajrétegben a gyökereket akadályozó tömör réteget csak függőleges irányban repesztő sekély munkájú tárcsás talajművelő eszközzel szüntetik meg, mely képez talpat a művelés során.

Bakhátas művelés során a bakhátak kialakítása után a bakhát felső részébe történik a vetés. A szármaradványokat a bakhátak közé mozgatják. Nedves és nagy agyag tartalmú talajokon alkalmazzák, mivel hamarabb melegszik. A gerincek kialakíthatók kontúrosan (rétegvonak mentén), füvesített vízelvezető csatornába torkolló barázdákkal. Ez a talajművelési rendszer igényli a pontos gépirányítási technikákat, melyek szavatolják a művelés során alkalmazott műveletek pontos elhelyezkedését. A talajművelési rendszer megkülönbözteti a bakhátak felső részeit és a bakhát közöket. Ennek megfelelően a bakhátas művelésben dolgozó géprendszereken használt

kerekezési megoldások nyomtáv és kerékméreteinek igazodniuk kell a bakhát geometriához.

Strip till/sávós vagy zónaművelés olyan talajművelési rendszer, amelyben egy keskeny, 15–30 cm széles sávot 10–30 cm mélységig művelünk és az új növényt erre a sávra ültetjük. Ez a forgatás nélküli rendszerek előnyös talaj- és vízmegőrzési tulajdonságait biztosítják, miközben a hagyományos talajművelési rendszerekhez hasonlóan gyorsan melegedő magágy állapotot alakít ki. A vetendő sorból a növényi maradványok eltávolításával a sáv művelés során a no-till talajműveléshez képest kedvezőbb vetésmélységben mérhető talajhőmérséklet gyorsabb csírázást és kelést és a növények gyorsabb korai növekedését segíti. Azon kukorica termesztők számára kedvező az alkalmazása, akik kötöttebb talajon gazdálkodnak, így tavasszal általában hűvösesek és nedvesek korai időszakban talajaik.

A sáv művelés a minimumművelésből fejlődött ki és ezáltal alkalmazza a műveletösszevonást is. Ez a talajművelési rendszer igényli a pontos gépirányítási technikákat, melyek szavatolják a művelés során alkalmazott műveletek pontos elhelyezkedését.

A no-till vagy direkt vető talajművelési rendszer olyan talajművelési rendszer, mely alkalmazása során a természetű kultúrnövényt közvetlenül olyan magágyba vetjük, amelyet az előző magágykészítés óta nem műveltek meg. A növényi maradványok maximális mennyiségét a felszínen tartjuk és a gyomok ellen vegyszerekkel, maradványmulccsal, takarónövények alkalmazásával vagy e módszerek kombinációjával védekezünk.

Fontos a talajművelési rendszerek rövidtávú és hosszútávú hatásainak megismerése, mérése és a megfelelő klimatikus adottságokhoz legjobban illeszkedő rendszerek fejlesztése (Bueno 2006).

Anyag és módszer

A kísérleteket Magyarország keleti régiójában Nádudvaron (47°25'49.3"N 21°12'33.5"E) végeztük. Négy különböző talajművelési rendszert állítottunk be 2016 őszén, melyeket azóta is folyamatosan alkalmazunk. A terület 25 ha, melyet öt külön parcellára osztottunk. Minden terület továbbá négy részre van osztva és ezekben a parcellákban egymástól különböző talajművelési rendszert alkalmazunk. Az első területrészen hagyományos (*traditional*),

forгатásra alapuló talajművelési rendszert alkalmazunk, ahol az alapművelő gép eke, szántási mélység 30 cm, felszínen nincs visszamaradó szármaradvány. A második területrészen fogatás nélküli redukált talajművelési rendszert (*reduced*). Itt az alapművelő eszközök kis meredekségi szögű késsel szerelt középnyelazító gépek (Gaspardo Artiglio), melyek keverő hatással rendelkeznek. Ennél az alapművelésnél teljes felületen művelünk, a lazítási mélység szempontjából 30 cm mély művelést végzünk, jellemző rá a felszínen visszamaradó maximálisan 15%-nyi szármaradvány. A harmadik területrészen a talajvédő (*protect*) művelési rendszert alkalmazzuk, egyeneskéses talajlazítókkal dolgozunk (Orthman Digger), teljes felületet lazítunk maximálisan 30 cm mélyen. Ezután az alapművelési technológia után 30% feletti szármaradvány borítottság marad. A negyedik területrészen a biológiai (*biological*) talajművelési rendszert használjuk, melynek alapművelési eljárása sávos művelés (Orthman ST6). Ekkor a teljes felület 40%-át műveljük meg 30 cm szélesen és 28 cm mélyen, a felszínen maradó szármaradvány mennyiség meghaladja a 30%-ot. Az alapművelések ősszel történnek, majd tavasszal egy elmunkálás/magágykészítési munkálat után vettünk.

Az alapművelések után az összes táblán belül végzett műveletet ugyanazon a nyomvonalon végezzük a CTF elvei alapján (Controlled Traffic Farming), automata kormányzási rendszerekkel irányítjuk a gépkapcsolatokat, RTK jelponosság mellett ($\pm 2,5$ cm).

Vizsgálatainkat 2021-ben és 2022-ben végeztük. A vizsgálat alá vont területen kukoricát termesztettünk. Minden művelésben négy mintaterületet állítottunk be, amelyek munkagépek taposásától mentes területrészek voltak. Ezt az elvet a CTF segítségével képesek voltunk betartani. A célunk az volt, hogy a talaj valódi változásait tudjuk mérni a talajművelési rendszerekben.

Meteorológiai adatok

Időjárási viszonyok elemzése alapján a két évjáratban jelentős eltéréseket mértünk. Az egyik legfontosabb tényező a csapadék. A mért értékeket két részre bontottuk, a termesztési szezon előtti időszakra (3. *ábra*) és a tenyészidőszakra (4. *ábra*).

A tenyészidőszak előtt lehullott csapadék mennyiség 222 mm volt az 50 év átlagában. A 2020/21-es szezonban 218 mm csapadékmennyiség hullott, a 2021/22-es szezonban pedig csak 145 mm. Láthatóak anomáliák a csapadék

eloszlását illetően is. Mindkét évjárat októberében az átlagnál kevesebb csapadékmennyiséget mértünk. A 2022-es január, február és március is jelentősen elmaradt az 50 éves átlagtól, azaz extrém száraznak mondható (3. ábra).

3. ábra. Csapadékmennyiségek a tenyészidőszakot megelőző időszakban

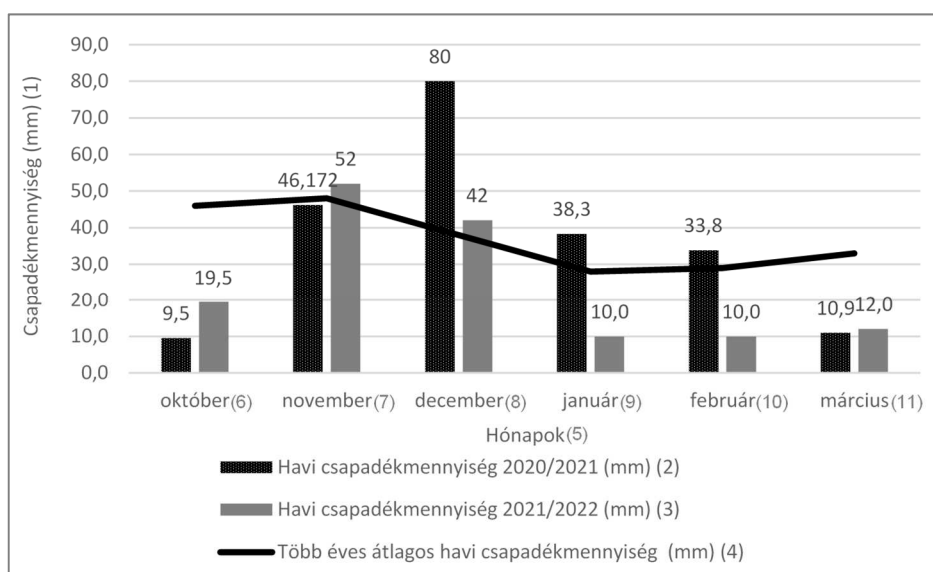


Figure 3. Precipitation amounts before the growing season. (1) Amount of precipitation (mm), (2) Monthly amount of precipitation 2020/2021 (mm), (3) Monthly amount of precipitation 2021/2022 (mm), (4) Multi-year average monthly amount of precipitation (mm), (5) Months, (6) October, (7) November, (8) December, (9) January, (10) February, (11) March

A tenyészidőszakban lehullott csapadékmennyiség a két termesztési szezonban eltérő volt. A lehullott csapadék 50 éves átlaga 309 mm, addig a 2021-as termesztési szezonban ez 216 mm és a 2022-es termesztési szezonban pedig 258 mm volt. 2021-ben a korai időszakban volt inkább kedvezőbb a csapadékelátás, majd a tenyészidőszak későbbi részén elmaradt a csapadék mennyisége a sok éves átlagtól. Különösen a június volt extrém száraz, a sok éves átlag 66 mm és csak 9 mm hullott. A 2022-es vizsgált időszakban az április és a szeptember kivételével az összes hónap jelentősen elmaradt az 50 éves átlagtól, azaz szélsőségesen száraznak volt mondható (4. ábra).

4. ábra. Csapadékmennyiségek a tenyésztidőszakban

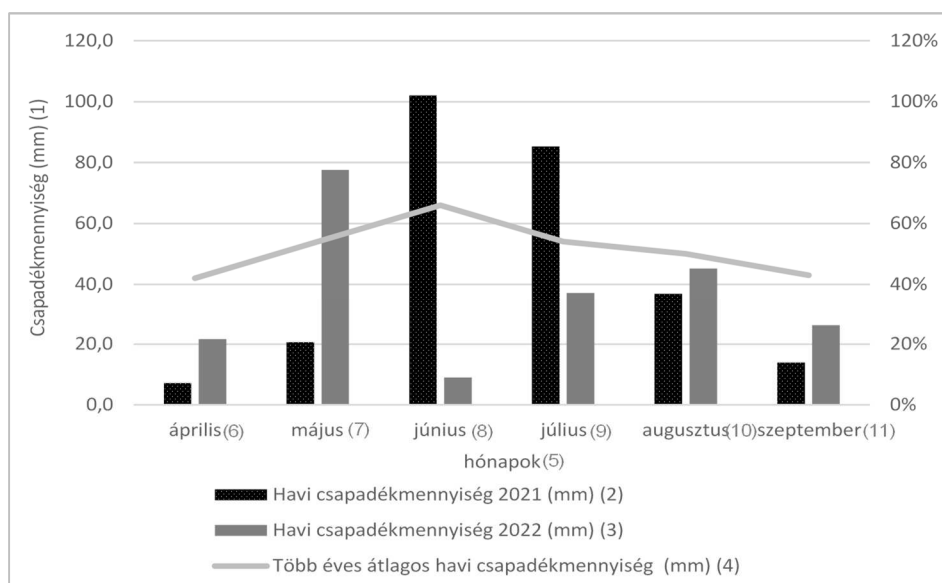


Figure 4. Precipitation amounts in the growing season. (1) Amount of precipitation (mm), (2) Monthly amount of precipitation 2021 (mm), (3) Monthly amount of precipitation 2022 (mm), (4) Multi-year average monthly amount of precipitation (mm), (5) Months, (6) October, (7) November, (8) December, (9) January, (10) February, (11) March

Talajparaméterek

Jellemeztük a talaj fizikai szerkezetét, melyet a különböző vizsgált parcellából vett kevert mintából határoztunk meg (1. táblázat). A talaj réti csernozjom, FAO osztályozás szerint Phaeozems típusú talaj (FAO 2015).

Kémiai összetétele alapján a talajt kedvező semleges kémhatás jellemzi (2. táblázat). Magasnak mondható szervesanyag-tartalommal és középkött szerkezettel írható le. Minden kezeléshez négy homogenizált, randomizált talajmintát vettünk 0–30 cm és 0–60 cm mélységben. A talajparamétereket Magyarországon akkreditált talajlabor mérte – a HL-LAB Kft. A talajmintákat a felsorolt magyar szabványok alapján vizsgálta: MSZ-08-0206-2:1978, MSZ-08-0205:1978, MSZ-08-0206-2:1978, MSZ-08-0206-2:1978, MSZ 08-0210:1977, MSZ 20135:1999, MSZ 20135:1999, MSZ 20135: 1999, MSZ-08-0206-2:1978.

1. táblázat. A kísérleti terület talajának fizikai összetétele

Mélység (cm) (1)	Homok (m/m%) (2)		Iszap (m/m%) (3)				Agyag (m/m%) (4)
	>0,25 mm	0,25- 0,05 mm	0,05- 0,02 mm	0,02- 0,01 mm	0,01- 0,005 mm	0,005- 0,002 mm	<0,002 mm
0-30	1,24	21,92	39,14	5,30	6,07	4,29	22,05
30-60	1,17	17,47	42,30	5,28	6,74	4,94	22,09
60-90	1,27	19,48	41,27	6,05	5,99	4,46	21,49

Table 1. Soil physical composition of the experiment site. (1) Depth (cm), (2) Sand (m/m%), (3) Silt (m/m%), (4) Clay (m/m%)

2. táblázat. Kísérleti terület talajának kémiai paramétereit

	Mélység (cm) (1)	
	0-30	30-60
pH _{H₂O}	7,2	7,88
pH _{KCl}	6,83	7,18
Szervesanyag (%) (2)	3,41	3,21
CEC (cmol/kg) (3)	42,33	45,72

Table 2. Chemical parameters of the soil in the experimental area. (1) Depth (cm), (2) Organic matter (%), (3) CEC (cmol/kg)

A talaj lazultságának jellemzésére a talaj penetrációs ellenállását mértük. Ezt a mérést 70 cm-es mélységig végeztük és a mérőeszköz 1 cm-es lépésközökben elmentette az eredményeket. A mérőeszköz megfelelt az ASAE S313.3 számú szabványnak. A mérőeszköz a behatolási erőt N dimenzióban mérte, melyet később az elemzés során MPa értékre váltottunk át. A mérőeszköz egyidejűleg talajnedvességet is mért V/V térfogat százalékos értéket adott eredményül a mérés során.

Minden mintaterületen 16 db mérést végeztünk a mérőeszközzel. A mérési pontok egymástól 1 m-es távolságra voltak és minden esetben növényi sorba estek. A mérési pontok helyét GPS mérőkészülékkel rögzítettük.

Évjáratonként két alkalommal mértünk. Először májusban, amikor még a kultúrnövények fejlődési periódusuk kezdeti szakaszában voltak, másodszor augusztus közepén a biológiai érés időszakában. A rögzített GPS koordináták segítségével a méréseket ugyanott tudtuk megismételni a tenyészidőszak során, illetve a következő évjáratban is.

A kísérleti területen meteorológiai állomás segítségével 10 perces időközönként mértünk csapadék és hőmérséklet adatokat. Csapadékmérő típusa Davis 6466-M, a hőmérsékletszenzor típusa pedig SHT35. Az állomáshoz kapcsolódtak vezeték nélküli rádiófrekvenciás módon talajnedvesség szenzorok, melyek típusa Sentek Drill and Drop. A 60 cm mélyre telepített szondák 10 cm-enként mérik a talaj térfogatszázalékos víztartalom %-át és hőmérsékletét. A 10 percenként mérések adatait a központi meteorológiai állomáshoz továbbították, ahonnan az egy központi szerverre kerültek.

A mért adatok feldolgozása és statisztikai értékelése Microsoft Excel 365 programmal, valamint SPSS for Windows (version 25.) szoftverekkel történt. A szignifikáns differencia meghatározásához varianciaanalízist alkalmaztam. A valószínűségi szint a mezőgazdasági gyakorlatban alkalmazott $P=0,05$ volt.

Eredmények

A penetrációs ellenállás felhasználható a talajművelés talajfizikai hatásainak értékelésére. Művelésenként a talajfelszíntől 70 cm mélységig cm-enként mértük az adatokat. Ezeket együtt ábrázolva a diagrammon elkülönülnek a forgatott és a forgatás nélküli parcellák penetrációs értékei. A hagyományos forgatásra alapozó művelési rendszerre jellemző talajprofil 10 és 20 cm között lazább volt ebben az időszakban, mint a többi rendszerénél. Azonban ennél a művelési módnál 30 és 40 cm között egy 5 MPa-t megközelítő keménységű eketalp réteget mutat mérésünk, a többi talajművelési rendszerben nem mértünk tömör réteget (5. ábra).

Statisztikai módszerekkel elemeztük a penetrációs behatolási értékek alakulását a vizsgált kezelésekben. A mért értékekből zónákat alakítottunk ki. A talajfelszíntől a 10 cm mélységig a penetrációs értékek szignifikánsan különböztek a hagyományos és a forgatás nélküli módokra alapozó rendszerek között. A többi mélységben nem volt statisztikailag igazolható szabályszerűség a talaj szerkezetében.

5. ábra. Penetrációs ellenállás (2021 május)

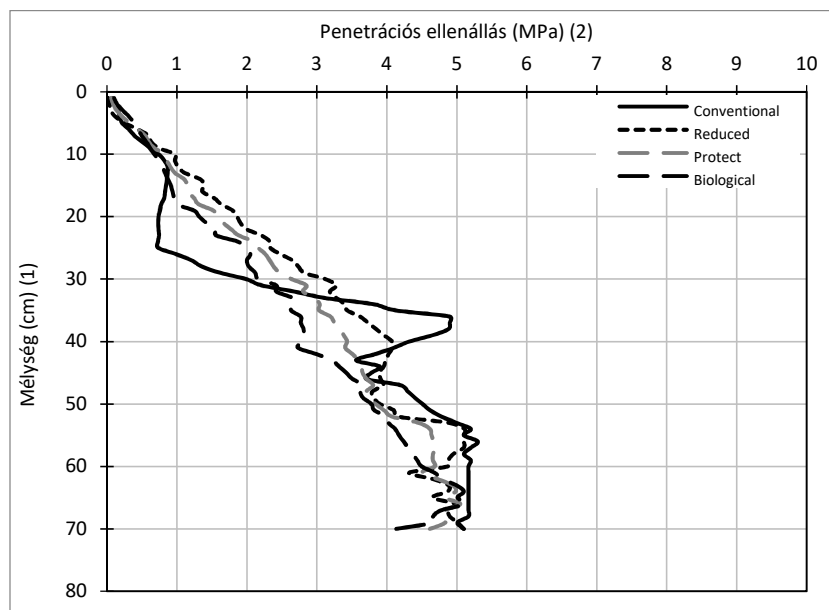


Figure 5. Penetration resistance (2021 May). (1) Depth (cm), (2) Penetration resistance (May 2021)

A 2021 augusztusában az előzővel megegyező mintatereken és mélységben végeztünk penetrációs méréseket (6. ábra). A leglazább talajszerkezetet a biológiai művelésben mértük, míg a legtömörebbet a hagyományos művelésben.

Az adatok zónánkénti összevetése alapján, melyet a 0–10 centiméteres rétegben nincs szignifikáns különbség a penetrációs ellenállás értékei között. A 20–30 cm rétegben szignifikánsan elkülönül a hagyományos művelési mód a forgatás nélküli rendszerektől, azonban azok egymáshoz viszonyítva nem különböznek. A 30–40 cm-es és a 40–50 cm-es rétegekben minden művelés esetében szignifikáns eltérést mértünk.

6. ábra. Penetrációs ellenállás (2021 augusztus)

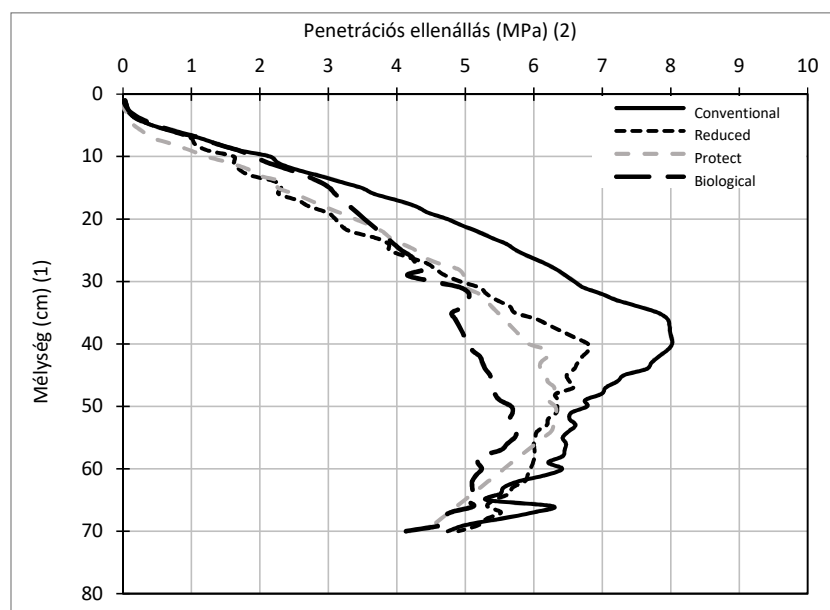


Figure 6. Penetration resistance (2021 August). (1) Depth (cm), (2) Penetration resistance (May 2021)

A 2022 májusban szezonban ismét elvégeztük a méréseket. A 2021-es időszakhoz hasonló lefutású eredményeket kaptunk (7. ábra).

A zónánkénti elemzések alapján a 0–10 cm-es rétegben nem találtunk statisztikai eltérést a művelések penetrációs ellenállás értékei között. A 0–10, 10–20 és 20–30-as rétegben a hagyományos művelési módok talajszerkezete volt a leglazább, a legkisebb penetrációs ellenállása. A 30–40 cm-es rétegben megfordult a tendencia és a hagyományos művelési rendszerbe vont parcellák mérési értékei statisztikailag elkülönülnek a többi műveléstől, azok voltak a legnagyobb penetrációs értékűek. Kemény művelőtalp réteg jelenlétét mértük.

7. ábra. Penetrációs ellenállás (2022 május)

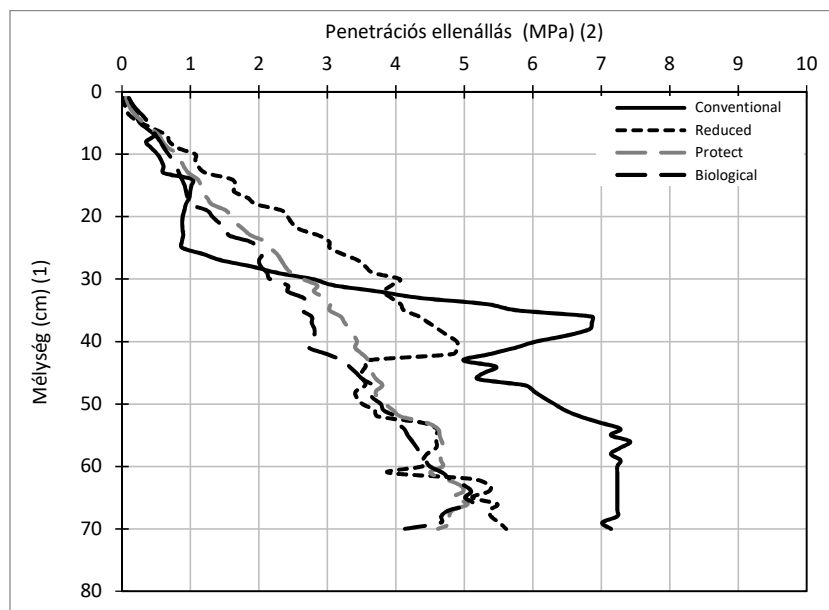


Figure 7. Penetration resistance (2022 May). (1) Depth (cm), (2) Penetration resistance (May 2021)

A 2022 augusztusában mért értékek alapján megállapítottuk, hogy a hagyományos művelés parcellájának eredményei nagyobb értékeket mutatnak, mint a többi talajművelési rendszer esetében (8. ábra).

A tenyészidőszak végén mért penetrációs értékeket. A 0-tól 50 cm-ig mért rétegben a hagyományos művelési rendszer értékei statisztikailag eltérnek az összes többi talajművelési rendszertől, rendre azok a legmagasabbak. A leglazább szerkezetet a biológiai művelés alá vont parcellákon mértük.

8. ábra. Penetrációs ellenállás (2022 augusztus)

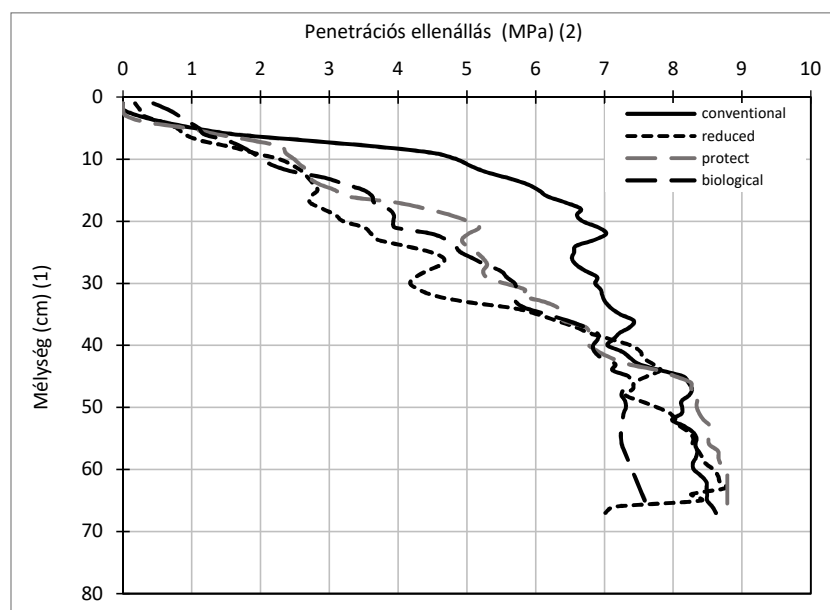


Figure 8. Penetration resistance (2022 August). (1) Depth (cm), (2) Penetration resistance (May 2021)

Következtetések

Megállapítottuk, hogy 2016 óta következetesen művelt parcellák összehasonlítása során különbségeket mutatnak a talaj szerkezete között. A penetrométerrel gyűjtött adatok bizonyították arra, hogy a hagyományos művelési rendszer, mely eke használatára alapoz, kialakít egy jellegzetes szerkezetet, mely a tenyészidőszak első időszakában a művelt rétegben lazább, mint más művelési rendszerek. Mindkét vizsgált évjáratban ennél a művelési módnál kemény tömörödött zónát mértünk a művelt és műveletlen talajrétegek határán. Ezt a hatást nem tudtuk igazolni más művelési módok esetében. Mindkét évjáratban a kapott eredményekre alapozva megállapítottuk, hogy a tenyészidőszak későbbi időszakában a talajszerkezet tömörebbé válik a hagyományos művelési rendszerben a forgatás nélküli rendszerekhez képest. Az egyes forgatás nélküli rendszerekben az adatok elemzése alapján

bizonyítottuk a biológiai rendszer lazább talajszerkezetet alakít ki, majd tart fenn a tenyészidőszak során.

A helyesen megválasztott művelési rendszer segíti a növényállományok fejlődését a vegetatív és a generatív ciklusban egyaránt. Fontos, hogy a gyökernövekedés szempontjából ne legyen a gyökerek fejlődését gátló kemény réteg a talajban. Még öntözött körülmények között is a gyökérnyúlás mechanikai akadályozása gyakran csökkenti a gyökérszétfejlődést (*Bengough et al.* 2011). Méréseink alapján a forgatás nélküli rendszerek esetében nem mértük ilyen réteg jelenlétét a vizsgált talaj szelvényben. Ez segíti a gyökerek mélyebbre növekedését. A mélyebb gyökerek előnyösek a csapadékhiányos állapotban és segítik a kultúrnövényt a nedvesség-felvételben (*Lopes és Reynolds* 2010).

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány alapjául szolgáló kutatást a TKP2021-NKTA-32 számú projekt a Kulturális és Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatás Fejlesztési és Innovációs alapról nyújtott támogatásával, valamint a Kulturális és Innovációs és Technológiai Minisztérium által meghirdetett Kooperatív Doktori Program KDP-2020 támogatta.

IRODALOM

- Afzalinia, S.-Zabihi, J.*: 2014. Soil compaction variation during corn growing season under conservation tillage. *Soil Tillage Research*. 137: 1-6.
- Alakukku, L.*: 1998. Properties of compacted fine-textured soils as affected by crop rotation and reduced tillage. *Soil and Tillage Research*. 47: 83-89.
- Alvarez, R.-Steinbach, H. S.*: 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil Tillage Research*. 104: 1-15.
- Ball, B. C.-Batey, T.-Munkholm, L. J.*: 2007. Field assessment of soil structural quality: a development of the Peerlkamp test. *Soil Use Manag.* 23: 329-337.
- Baross L.*: 1909. Tárcsásborona és szuperfoszfát (Disk harrow and superphosphate). *Köztelek*. 19: 2108-2110.

- Bengough, A. G.-McKenzie, B. M.-Hallett, P. D.-Valentine, T.:* 2011. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: A review of limiting stresses and beneficial root tip traits. *J. Exp. Bot.* 62: 59-68.
- Birkás, M.-Gyuricza, Cs.-Szalai, T.-Jolánkai, M.-Gecse, M.-Percze, A.:* 2000. Crop responses to subsoil compaction. [In: Birkás et al. (eds.) Proceedings of the Second Workshop on Subsoil Compaction.] Gödöllő. May 29-31, 2000. 58-63.
- Borst, H. L.-Mederski, H. J.:* 1957. Surface Mulches and Mulch Tillage for Corn Production. Bulletin 796. Ohio Agricultural Experiment Station. Wooster. Ohio.
- Bueno, J.-Amiama, C.-Hernanz, J. L.-Pereira, J. M.:* 2006. Penetration resistance, soil water content and workability of grasslands soil under two tillage systems. *American Society of Agricultural and Biological Engineers ASABE.* 49. 4: 875-882. doi: 10.13031/2013.21727
- Cannell, R. Q.-Hawes, J. D.:* 1994. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. *Soil and Tillage Research.* 30: 245-282.
- Carr, P.-Mäder, P.-Creamer, N.-Beeby, J. S.:* 2012. Overview and comparison of conservation tillage practices and organic farming in Europe and North America. *Renewable Agriculture and Food Systems.* 27. 1: in press
- Carter, A.-Jordan, V.-Stride, C.:* 2003. A Guide to Managing Crop Establishment. Soil Management Initiative. Chester.
- Carter, M. R.:* 1991. Evaluation of shallow tillage for spring cereals on a fine sandy loam 2. Soil physical, chemical and biological properties. *Soil Tillage Research.* 21: 37-52.
- CTIC:* 2000. Economic Benefits with Environmental Protection. Conservation Technology Information Centre. Lafayette. IN
- European Commission: Directorate-General for Research and Innovation:* 2020. Caring for soil is caring for life - Ensure 75% of soils are healthy by 2030 for food, people, nature and climate - Report of the Mission board for Soil health and food (Veerman, C. et al.). Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/821504>
- FAO:* 1988. FAO/Unesco Soil map of the world, revised legend. World Resources Report 60. FAO. Rome. 103.
- Faulkner, E. H.:* 1943. Plowman's Folly. University of Oklahoma Press. Norman.
- Gao, W.-Whalley, R.-Tian, Z.-Ju Liu-Ren, T.:* 2016. A simple model to predict soil penetrometer resistance as a function of density, drying and depth in the field. *Soil and Tillage Research.* 155: 190-198. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.08.004>

- Khatibi, A.-Omrani, S.-Omrani, A.-Shojaei, S.-Mousavi, S.-Illés, Á.-Bojtor, C.-Nagy, J.:* 2022. Response of Maize Hybrids in Drought-Stress Using Drought Tolerance Indices. *Water*. 14. 7: 1-10
- Lal, R.-Reicosky, D. C.-Hanson, J. D.:* 2007. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil and Tillage Research*. 93: 1-12.
- Licht, M. A.-Al-Kaisi, M.:* 2005. Strip-tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties. *Soil Tillage Research*. 80: 233-249.
- Lopes, M. S.-Reynolds, M. P.:* 2010. Partitioning of assimilates to deeper roots is associated with cooler canopies and increased yield under drought in wheat. *Funct. Plant Biol.* 37: 147-156.
- Luna, J. M.-Mitchell, J.-Shrestha, A.:* 2012. Conservation tillage for organic agriculture: Evolution toward a hybrid system. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 27: 21-30.
- Mäder, P.-Berner, A.:* 2012. Development of reduced tillage systems in organic farming in Europe. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 27. 1: 7-11.
- Manninger G. A.:* 1938. A kultivátor, mint egyetemes művelő-szerszám (The cultivator, as an universal tillage tool). [In: Marschall, F. (ed.) A tarlótól a magágyig.] Révai Nyomda. Budapest. 84-90.
- Morris, N. L.-Miller, P. C. H.-Orson, J. H.-Froud-Williams, R. J.:* 2010. The adoption of non-inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment - A review. *Soil Tillage Research*. 108: 1-15
- Nagy J.:* 2021. Kukorica: a nemzet aranya: élelmiszer, takarmány, bioenergia. Szaktudás Kiadó Ház Rt. Budapest. 516.
- Nagy, J.:* 2011. The effect of soil pH and precipitation variability during the growing season on maize hybrid grain yield in a 17 year long-term experiment. *Int. J. Hort. Sci.* 59. 1: 60-67.
- Nyéki, A.-Neményi, M.:* 2022. Crop yield prediction in precision agriculture. *Agronomy*. 12. 10: 2460.
- Nyíri L.:* 1993. Földműveléstan. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- Pepó, P.-Ruzsányi, L.-Nagy, J.:* 1997. Sustainable crop management in cereal production. [In: Nagy, J. (ed.) Soil, Plant and Environment Relationships.] DATE. Debrecen. 51-67.
- Phillips, S. H.-Young, H. M.:* 1973. No-Tillage Farming. Reiman Associates, Milwaukee. Wisconsin. 224.
- Poynor, R. R.:* 1950. An Experimental Mulch Planter. *Agr. Engr.* 31: 509-510.
- Rácz, D.-Gála, B.-Horváth, É.-Illés, Á.-Széles, A.:* 2021a. The efficiency of nitrogen stabilizer at different soil temperature on the physiological development and productivity of maize (*Zea mays* L.). *Agronomy Research*. 19. 4: 1888-1900.

- Rác, D.-Szóke, L.-Tóth, B.-Kovács, B.-Horváth, É.-Zagyi, P.-Duzs, L.-Széles, A.:* 2021b. Examination of the Productivity and Physiological Responses of Maize (*Zea mays* L.) to Nitrapyrin and Foliar Fertilizer Treatments. *Plants*. 10. 11: 2426.
- Salem, H. M.-Valero, C.-Munoz, M. A.-Rodriguez, M. G.:* 2015. Short-term effects of four tillage practices on soil physical properties, soil water potential, and maize yield. *Geoderma*. 237-238, 60-70.
- Shepherd, T. G.:* 2009. Visual Soil Assessment. Volume 1: Field Guides for Pastoral Grazing and Cropping on Flat to Rolling Country (2nd edition). Palmerston North. New Zealand. Horizons Regional Council.
- Stelluti, M.-Maiorana, M.:* 1997. Multivariate approach to evaluate the penetrometer resistance in different tillage systems. *Soil and Tillage Research*. 46: 145-151.
- Szabó J.-Pirkó B.-Szabóné Kele G.-Havas Á.-Podmaniczky L.-Pásztor L.-Dombos M.-Bakacsi Zs.-László P.-Koós S.-Laborczi A.-Vass-Meyndt Sz.:* 2012. Az Országos Környezeti Információs Rendszer (OKIR) talajdegradációs alrendszerének (TDR) kialakítása. Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában III. Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás. Debreceni Egyetemi Kiadó. Debrecen. 389-396.
- Széles, A.-Huzsvai, L.:* 2020. Modelling the effect of sowing date on the emergence, silking and yield of maize (*Zea mays* L.) in a moderately warm and dry production area. *Agronomy Research*. 18. 2: 579-594.
- Thomas, G. W.-Blevins, R. L.:* 1996. The development and importance of no-tillage crop production in Kentucky. *Agronomy Research Report 1996*. Kentucky Agric. Exp. Sta. Progress Report No. 385: 5-6.
- Triplett, G. B.:* 1976. PART I: History, Principles and Economics of Crop Production With Reduced Tillage Systems History of Reduced Tillage Systems. *Bulletin of the Entomological Society of America*. 22. 3: 289-291.

A szerzők levelezési címe - Address of the authors:

*Sojnóczki István - Dr. Nagy János
Debreceni Egyetem MÉK
Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032
*sojni@agr.unideb.hu

