

DIPLOMADOLGOZAT

BÍRÓ SÁNDOR

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Növénytermesztési-tudományok Intézet

Agrármérnöki osztatlan szak

**KÜLÖNBÖZŐ ALAPMŰVELÉSI ELJÁRÁSOK
HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA A SZÓJA
TERMÉSMENNYISÉGÉRE A TALAJ CO₂ KIBOCSÁTÁS-
ÉS NEDVESSÉGTARTALOM VÁLTOZÁSA
ASPEKTUSÁBÓL**

Belső konzulens: Dr. Kende Zoltán
egyetemi adjunktus

Belső konzulens: Bozóki Boglárka
PhD hallgató

**Belső konzulensek
intézete, tanszéke:** Növénytermesztési-
tudományok Intézet,
Agronómia Tanszék

Készítette: **Bíró Sándor**
LZVV89
nappali tagozat

Gödöllő

2024

Tartalomjegyzék

Bevezetés és célkitűzések	3
1. Irodalmi áttekintés	4
1.1. A szójatermesztés nemzetközi és hazai helyzete.....	4
1.2. A szója éghajlati és talajigénye	6
1.3. A klímaváltozás hatása a szója termesztésére	7
1.4. A talajművelés hatása a talajnedvességre és a szója termesztésére.....	11
1.5. A talajművelés hatása a talaj szén-dioxid kibocsátására és a szója termesztésére	15
1.6. Az irodalmi áttekintés főbb megállapításai	18
2. Anyag és módszer	19
2.1. A szántóföldi kísérlet körülményeinek bemutatása.....	19
2.2. Földrajzi fekvés és domborzati viszonyok.....	19
2.3. Éghajlati tényezők	19
2.4. Talajadottságok.....	20
2.5. A kísérlet kezelése, termesztéstechnológiai leírása.....	20
2.6. Vizsgálatok módszerei.....	21
2.6.1. A talajnedvesség mérése.....	21
2.6.2. A CO ₂ -emisszió vizsgálat.....	22
2.6.3. Termés vizsgálata	22
2.6.4. Statisztikai elemzés	22
3. Eredmények és értékelésük	23
3.1. Csapadékviszonyok a vizsgálatok éveiben.....	23
3.2. A talajnedvesség vizsgálat eredményei	24
3.3. A CO ₂ -emisszió vizsgálatok eredményei	30
3.4. A termésbecslés eredményei	33
3.5. A termés alakulása.....	37
4. Következtetések és javaslatok	39
5. Összefoglalás	42
Irodalomjegyzék	43
Ábrák és táblázatok jegyzéke	52

Mellékletek	53
Köszönetnyilvánítás.....	55
Eredetiség és szellemi tulajdonkezelési nyilatkozat.....	56
Konzulensi nyilatkozat a beadhatóságról.....	57

Bevezetés és célkitűzések

A globális felmelegedés okozta éghajlatváltozás hatalmas kihívást jelent a mezőgazdasági termelés számára a növekvő élelmiszer iránti kereslet kielégítésében és a fenntartható fejlődés biztosításában. Az előrejelzések szerint 2050-re 9,7 milliárd ember fogja benépesíteni bolygónkat, akik számára világviszonylatban egyre csökkenő termőterületen szükséges a mezőgazdaságnak megtermelni a szükséges élelmiszermennyiséget. Az emelkedő átlaghőmérséklet és a csökkenő csapadékmennyiség szélsőséges idő- és térbeli eloszlása kedvezőtlen hatást gyakorol a szántóföldi növénytermesztés keretében a talajra és a növényállományra egyaránt. Kutatások szerint a Kárpát-medence térségében az aszályos időszakok fokozódására kell számítanunk, melyek beigazolódni látszanak, hiszen a 2022-es évben történelmi mértékű aszály sújtotta az országot.

A szója (*Glycine max* L.) magas fehérje-, szénhidrát-, vitamin- és ásványianyag-tartalma miatt az egyik legfontosabb termesztett növényünk, amely hozzájárul az állatok takarmányozásához és az emberi táplálkozáshoz. Magyarországon körülbelül 60-70 ezer hektáron foglalkoznak a gazdálkodók szójatermesztéssel, holott a belföldi igény sokkal nagyobb területet indokolna, emellett az Európai Unió agrártámogatási oldalán is ösztönözi a fehérjenövény-termelést az önellátáshoz szükséges fehérjeforrás biztosítása érdekében. A jövőben tehát a szója iránti kereslet növekedésére lehet számítani a magyar agráriumban is. Az éghajlatváltozás viszont kedvezőtlenül befolyásolja a szója termesztetőségét hazánkban, amihez az alkalmazott agrotechnikának alkalmazkodnia szükséges a sikeres termesztés érdekében. A különböző talajművelési módok különbözően hatnak a talaj vízgazdálkodására, az eltérés a csapadék talajba szivárgásának elősegítésében vagy gátlásában, továbbá a meglévő nedvesség megőrzésének mértékében mutatkozik meg.

Az éghajlatváltozás egyik fő oka az üvegházhatású gázok légköri koncentrációjának növekedése, melyek egy része a mezőgazdasági termelésből, így a szántóföldi növénytermesztésből is származik. A talaj a szárazföldi ökoszisztéma legnagyobb szénraktára, azonban a talajművelés hatására a természetes egyensúlyi állapota felbomlik és fokozódik a talajlégzés. A gyökérszóna magasabb CO₂-koncentrációja pedig káros hatással lehet a növényre.

Minderre reflektálva kutatásom céljával tűztem ki, hogy hat különböző alpművelési eljárást összehasonlítva összefüggéseket keressek a talajban művelés hatására bekövetkező szén-dioxid kibocsátás- és nedvességtartalom változás, illetve a szója termésmennyisége között, meghatározva ezáltal a szója számára legkedvezőbb talajművelési módot vagy módokat.

1. Irodalmi áttekintés

1.1. A szójatermesztés nemzetközi és hazai helyzete

A szója (*Glycine max* (L.) Merrill) a világ negyedik legfontosabb élelmiszernövénye (Basal – Szabó, 2019), magja átlagosan 40% fehérjét, 20% olajat, 35% szénhidrátot és 5% ásványi anyagot tartalmaz (Mertz-Henning et al., 2018). Kereskedelmi értékét a fehérje- és olajtartalma befolyásolja (Páczay, 2017), ezek összetételének arányait pedig a genotípus és a környezet közötti kölcsönhatások határozzák meg (Santos et al., 2018; Basal – Szabó, 2019), ezáltal a magok fehérje- és olajtartalma 31,7 és 57,9%, illetve 6,5 és 25,6% között változhat (Mertz-Henning et al., 2018). A szója az emberi felhasználásra szánt növényi fehérjék mintegy 60%-át adja (Basal – Szabó, 2019), jelentős mértékben hozzájárul az étolaj, a takarmányozásra szánt fehérjekoncentrátum, az élelmiszeripari felhasználás és a különböző ipari termékek előállításához (Jumrani – Bhatia, 2018).

A szója Délkelet-Ázsiából származó, a kalászos gabonák mellett az egyik legkorábban termesztett kultúrnövényünk (Radics – Pusztai, 2011). Nem bizonyított ugyan, hogy hol és mikor történt a termesztésbe vonása (Anderson et al., 2019), azonban eddigi ismereteink szerint a szója őshazája a 20. és 45. szélességi fok közötti területre, Észak-Kína keleti részére, Mandzsúriába tehető (Bódis – Kralovánszky, 1988; Radics – Pusztai, 2011). Termesztését az emberiség már ennél korábban, Kínában több mint 8000 évvel ezelőtt, Japánban 5000 évvel ezelőtt, Koreában pedig 3000 évvel ezelőtt megkezdte (Singh, 2017), a világ más részeire a szója viszont csak jóval később jutott el. Európába a XVIII. században misszionáriusok révén került (Radics – Pusztai, 2011), ahol hosszú évekig számos nagy európai botanikus kertben volt megtalálható, mint bemutatási célú növény (Shurtleff – Aoyagi, 2021). Az európai szójatermesztés megkezdése Haberlandt Frigyes magyaróvári és bécsi professzor nevéhez köthető, aki Magyaróváron honosítási és termesztetőségi vizsgálatokba kezdett Kínából, Japánból, Transzkaukázusból, Mongóliából és Kelet-Indiából származó szaporítóanyagokkal, mely kísérletek eredményeit az 1873-as bécsi világkiállításon ismertette (Shurtleff – Aoyagi, 2021). A szójatermesztés iránti kedvet az ipari méretű extrakciós olajkinyerés technológiájának elterjedése hozta meg a nyugati civilizáció gazdálkodóinak az 1930-as évek második felében (Bódis – Kralovánszky, 1988). 1939-ben a világon 13 millió tonna szóját termeltek összesen, ebből 9,5 millió tonnát Kína, valamint 2,5 millió tonnát az Amerikai Egyesült Államok (USA) állított elő (Balikó et al., 2005). Az USA 1968-ban már több, mint 30 millió tonna szóját termelt, ami a globális termelés 72,7%-ának felelt meg, mindeközben újabb országok kezdték bővíteni szójatermelésüket, főként Dél-Amerikában (De Maria et al., 2020). Argentínában az 1990-es

évektől kezdve a gazdálkodók a szóját no-till rendszerrel termesztik, amely fokozatosan váltotta fel a hagyományos talajművelési rendszereket (Micucci – Taboada, 2006). Az 1968 és 2018 között eltelt 50 év alatt a világ szójatermelése 8,4-szeresére nőtt, az átlaghozam csaknem megduplázódott, és a globális vetésterület az 1968-as 28,8 millió hektárról 2018-ra közel 125 millió hektárra, azaz 4,3-szorosára nőtt (De Maria et al., 2020). Az Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Világszervezet adatai szerint a világ szójatermelése 2022-ben már meghaladta a 133 millió hektárt, amelyről 2,6 t/ha-os átlaghozammal 348 millió tonna termést takarítottak be (http1). A globális termelési szint ilyen rendkívüli növekedése a szója rendelkezésére álló termőterület bővülésének, illetve a nemesítés és a géntechnológia általi genetikai fejlesztéseknek, továbbá a jobb termesztési technikáknak köszönhető átlagos hozamnövekedés eredménye (De Maria et al., 2020). A világon értékesített szója több mint fele génmódosított eredetű, mivel azok jobban ellenállnak az abiotikus és biotikus stresszhatásoknak, ezért nagyobb a termésbiztonságuk (Páczay, 2017). A világ szójatermelése erősen koncentrált, ugyanis a globálisan megtermelt mennyiség 80%-a három legnagyobb globális termelőtől – Brazília, USA és Argentína, továbbá közel 97%-a a tíz legnagyobb szójatermelő országból (2022-ben a termelt mennyiség csökkenő sorrendjében Brazília, USA, Argentína, Kína, India, Kanada, Oroszország, Paraguay, Bolívia, Ukrajna és Dél-afrikai Köztársaság) származik (http1). A gyors népességnövekedés miatt a globális szója iránti kereslet 2019 és 2050 között várhatóan 46%-kal fog nőni (Falcon et al., 2022). Sajnos az éghajlatváltozás számos fontos termelő régióban jelentős stresszt fejt ki a szója terméshozamára (Fernandes et al., 2022), ami veszélyezteti a globális szójaellátást.

Hazánkban is történtek próbálkozások Haberlandt Frigyes úttörő munkássága nyomán a szója termesztésére a XIX. század végén, azonban az érdeklődés iránta néhány éven belül alábbhagyott (Bódis – Kralovánszky, 1988). Szakál – Tölgyesi (1990) szerint a magyar szójatermesztés növekedését többségében a növényi eredetű fehérje globális kereskedelmét akadályozó események váltották ki, mint például az I. és II. világháború. 1943-ban például bevezették a szója kötelező termesztését Magyarországon, aminek eredményeként abban az évben a szója vetésterülete megközelítette a 35 ezer hektárt, azonban a hektáronkénti átlaghozam nagyon alacsony, 1-1,2 tonna volt (Balikó et al., 2005). A háborút követően a termesztési kedv drasztikusan lecsökkent, ami csak az 1970-es évek elején kezdett el ismét növekedni a hazai fehérjeprogram elindítását követően, így például 1976-ban már elérte a közel 40 000 hektárt (Bódis – Kralovánszky, 1988), az 1980-as évek második felében pedig már 66 ezer hektárról 105 ezer tonna szója lett betakarítva az országban (Balikó et al., 2005). A rendszerváltást követően azonban a szójatermesztéssel foglalkozó termelősövetkezetek és

állami gazdaságok nagyfokú megszűnése miatt a szója termőterülete 10-13 ezer hektárra csökkent (Balikó et al., 2005), majd a 2000-es évek közepén 30 ezer hektár körül állandósult (http3). A Közös Agrárpolitika 2014-2020 költségvetési ciklusában bevezetett új támogatási struktúrának köszönhetően 2014-ről 2015-re a hüvelyesek és főleg a szója vetésterülete mind az Európai Unióban, mind Magyarországon emelkedni kezdett (Kulmány et al., 2020). Magyarország szójafelhasználásának körülbelül egyharmadát fedezi a hazai előállítás, a hiányzó mennyiséget Argentínából és Brazíliából importáljuk (Páczay, 2017). A magyar agrárpolitikában a GMO-mentes fehérjeforrás biztosítását célzó eszközrendszer megteremtése, ezáltal a fehérjetakarmány-előállítás ösztönzése az állattenyésztési ágazatok számára stratégiai jelentőségűvé vált (Páczay, 2017). 2022-ben a szója magyarországi vetésterülete meghaladta a 66 ezer hektárt, amelyről a történelmi mértékű aszály ellenére 2,03 t/ha-os átlaghozammal 134 ezer tonnát takarítottak be, ami a nyolcadik legnagyobb megtermelt mennyiség volt az Európai Unió tagországai között (http2). Bár a szója termőterülete Magyarországon évente eddig mintegy 10%-kal növekedett, ugyanakkor az is elmondható, hogy a vetett fajták száma túlságosan magas, a termés és a víz viszonya pedig bizonytalan (Anda et al., 2020).

1.2. A szója éghajlati és talajigénye

Magyarország a szója termeszthetőségének felső határán (45-48. szélességi fok) fekszik (Pál, 1983). A szója tenyészidejének hosszúságát a fotoperiódus határozza meg, emiatt a földrajzi fekvésből adódóan hazánkban csak a korai és a közepes éréscsoportba tartozó fajták érnek be állományszárítás nélkül (Balikó et al., 2005). A szója hőigényes növény, a Magyarországon termesztett szójafajták tenyészideje 100-tól 160 napig terjed, mely alatt 2100-2500°C a hőösszeg igényük (Balikó, 2015). 12°C-os talajhőmérsékletnél vetve kelése és fejlődése gyors és egyenletes, a fiatal növény jól tűri a hideget, ellenben a kisebb fagyok visszavethetik fejlődésében (Bódis – Kralovánszky, 1988). A szükséges napi átlaghőmérséklet 12-15°C a tenyészidő elején, majd 20-22°C a virágzás idején. A nyár eleji vegetatív fejlődés során az egyenletes meleget kedveli, a virágzás kezdetétől a hüvelyesedés végéig pedig a legmagasabb a hőigénye, majd később az egyenletes, száraz meleg a tenyészidő végén kedvez a gyors vízleadásnak és az érésnek (Balikó et al., 2005).

A szója vízigényes növény, transzspirációs koefficiense 700-800 l/kg, amit nagyban befolyásolnak a környezeti tényezők és a tápanyagellátottság (Bódis – Kralovánszky, 1988). A szója a virágzás kezdetéig tulajdonképpen szárazságtűrőnek mondható, ami Magyarországon június közepétől július végéig, hüvelyesedése pedig augusztus közepe-végéig tarthat, érési csoportba tartozástól függően (Kurnik, 1987). A szója rendkívül érzékeny a nyári hónapok

csapadékmennyiségére és eloszlására (Kuszák – Vadász, 2022), az augusztusi időszak pedig különösen fontos, mivel ez az az időszak, amikor a szója elérte a maximális fejlődési szintet a vegetatív tömeg és a gyökerek tekintetében (Bozóki et al., 2022) (*M5. kép*). Amennyiben a július és augusztus eleji időjárás meleg és párás, akkor kedvező terméseredmények várhatók, hiszen ezen időszak időjárási viszonyai döntő jelentőségűek (Kuszák – Vadász, 2022). Magyarországon azok a termőhelyek a legkiválóbbak szójatermesztésre, ahol a június, július és augusztus csapadékmennyiségének összege eléri a 160-180 mm-t (Radics – Pusztai, 2011). Döntő szerepe tehát a csapadék tenyészidő alatti megfelelő eloszlásának van, nem pedig az összes csapadék mennyiségének.

A szója nem túlzottan igényes a talaj típusa iránt, ugyanakkor termesztése csernozjom és barna erdőtalaj típusú talajokon a legcélszerűbb, ezen belül a mészlepedékes csernozjomok, a réti csernozjomok, a csernozjom barna erdőtalajok és a Ramann-féle barna erdőtalajok a legmegfelelőbbek (Balikó et al., 2005). Meleg, száraz időjárás esetén a túl laza, hűvös, csapadékos esetén pedig a tömörödött, rosszul szellőző talajszerkezet hátrányos (Kurnik, 1987).

1.3. A klímaváltozás hatása a szója termesztésére

Az éghajlat a mezőgazdasági termelékenység egyik fő korlátozó tényezője, ahol az éghajlatváltozás növelheti az élelmiszertermelés kockázatát (Fernandes et al., 2022), veszélyeztetve az élelmezésbiztonságot, és további kihívást jelent a fenntartható fejlődési célok elérésében (Qiao et al., 2023). A Kárpát-medence területe is fokozottan kitett az éghajlat változékonyságának, azon belül is elsősorban az évközi csapadékesemények rendkívül szélsőséges alakulásának, ami az alacsony és egyenlőtlenül eloszló csapadékmennyiségben nyilvánul meg (Anda et al., 2020). A szója különösen érzékeny az olyan szélsőséges időjárási anomáliákra, mint az egyenlőtlen csapadékeloszlás, a nagy hőingadozás vagy a száraz forróság (Bódis – Kralovánszky, 1988). Mivel az éghajlatváltozásra érzékeny szója termesztése globálisan erősen koncentrált, emiatt a szója világszinten elérhető termésmennyiségére rendkívüli hatást gyakorol a főbb termelő országok termelésének ingadozása (Qiao et al., 2023).

Fontos kereskedelmi árucikk lévén, az éghajlatváltozás okozta terméseszkökenés a nemzetközi kereskedelem közvetítésével világszerte elégtelen szójakínálatához és magasabb árakhoz vezet, ezért regionális szempontból a szóját nettó importáló országok a szójaellátásilánc hullámhatása miatt sérülékenyebbek (Qiao et al., 2023). A szójatermesztés iránti növekvő kereslet kielégítése érdekében erőfeszítéseket kell tenni a hazai szója termelékenységének növelésére még alacsony vízellátottsági körülmények között is, különösen

az éghajlatváltozással szemben érzékeny és az importtól nagy mértékben függő régiókban (Bozóki et al., 2022), így Magyarországon is.

Zhou és munkatársai (2021) szerint a szójatermesztést a jövőben a hőmérséklet- és csapadékmintázatok változása befolyásolja, ami megfelelő stratégiák alkalmazását teszi szükségessé. A jövőbeli éghajlat mellett a szója terméshozama várhatóan csökkenni fog, elsősorban az aszály és a hőstressz miatt (Jin et al., 2017). Az emelkedett hőmérséklet és a vízhiány a növények növekedését korlátozó legfontosabb abiotikus tényezők (Jumrani – Bhatia, 2018), amelyek egyszerre jelentkezhetnek a szántóföldön (Fernandes et al., 2022), erős kölcsönhatásban állnak egymással, de külön-külön is káros hatást gyakorolnak a növények fejlődésére (Jumrani – Bhatia, 2018). A jövőbeli éghajlati forgatókönyvek alapján a természetes csapadéktól való függés még Magyarországon is veszélyezteti a szója terméshozamának évenkénti és termőterületi változékonyságát (Anda et al., 2020).

Az optimális szintet meghaladó emelkedett hőmérséklet kedvezőtlenül befolyásolja a növények fiziológiáját mind vegetációs, mind reprodukciós fázisukban, ami a terméshozam csökkenéséhez vezet (Lamaoui et al., 2018). A hőmérséklet a fotoperiódushoz hasonlóan meg tudja határozni a növény fejlődésének ütemét (Hatfield – Prueger, 2015), ugyanis a hőmérséklet emelkedése a szója egyes fenológiai fázisainak időtartamát jelentősen csökkentheti (Syromyatnikov et al., 2023), elsősorban a vegetatív fázisból a reprodukciós fázisba való átmenetet serkentve (Timilsina et al., 2023). Továbbá a hőmérséklet fontos szerepet játszik az aszályos események okozta termés kiesés intenzitásának módosításában, ami a jövőben a szójára nézve jelentős fenyegetéssé válik (Jin et al., 2017). Az emelkedő hőmérséklet megnövekedett evapotranszpirációt okoz, ami növeli a növények vízigényét, végső soron vízstresszt eredményez (Jumrani – Bhatia, 2018). Emiatt több mezőgazdasági terület lesz kitéve vízhiányos helyzeteknek a szélsőséges hőségek következtében (Timilsina et al., 2023).

A víz elérhetősége az egyik olyan éghajlati elem, amely leginkább befolyásolja a szója fejlődését és termőképességét (Dong et al., 2019; Anda et al., 2020). A hőmérséklet mellett a vízstressz is felelős a szója egyes fenofázisainak meghatározásáért. A fenológia alkalmazkodás kritikus szerepet játszik a növények kedvezőtlen környezeti tényezőkhöz való alkalmazkodásában (Setiyono et al., 2007). Általánosságban elmondható, hogy a vegetatív szakaszban a rövid távú, mérsékelt talajnedvesség-hiány nem befolyásolja a szója termesztését (Comlekcioglu – Simsek, 2011), a komolyabb vagy tartósabb vízhiány azonban bizonyítottan a szójatermés csökkenését eredményezi (Turan et al., 2019). A vegetatív fázisban jelentkező vízstressz kedvezőtlenül hat a levélmorfológiára (Dong et al., 2019) és a termés fiziológiájára (Zhou et al., 2022), illetve a fotoszintézist is csökkenti, de amint a stressz megszűnik, a növény

bizonyos mértékig regenerálódik (Jumrani – Bhatia, 2018). A vegetatív szakasszal ellentétben a reproduktív szakaszban vízstressznek kitett növényeknek nem képesek a regenerálódásra, ezért a növények korán befejezik vegetációjukat (Jumrani – Bhatia, 2018). A szóját hátrányosan érinti a tenyészidő közepi aszály, aminek oka a folyamatos, rendszertelen csapadékeloszlás és -mennyiség, amely többnyire a szója reproduktív fenofázisaiban, a virágzás, a hüvely- és a magtelítődés szakaszában fordul elő (Bódis – Kralovánszky, 1988; Krishnamurthy et al., 2010; Omondi et al., 2015). A virágindukció és virágzás alatti vízstressz rövidebb virágzási időszakot eredményez (Timilsina et al., 2023). Santos és munkatársai (2018) szerint a vízhiány súlyosan csökkenti a terméshozamot a virágok és a hüvelyek elrűgása, a gyenge termékenyülés, illetve a magok és a fiatal hüvelyek elégtelen fejlődése miatt. Normál körülmények között a hüvelyszám egy növényen átlagosan 80-120 darab között alakulhat, azonban ennél tágabb intervallum (20-250 darab/növény) is megadható fajta és ökológiai körülmény függvényében (Szabó, 1987). Pál (1983) szerint tőtájéktól a növény középtájáig általánosan jobb a virágok termékenyülése, emiatt itt a hüvelyszám is nagyobb, középtájától a csúcs felé viszont csökken a hüvelykötés, ami különösen igaz például aszály esetén. Jumrani és Bhatia (2018) megfigyeléseiben a 2 és 3 magvú hüvelyek aránya kisebb, míg a 0 és 1 magvú hüvelyek aránya nagyobb volt a vízhiányos növényeknél. A magtelítődési időszak lerövidülése és a lombozat öregedésének felgyorsulása a magméret csökkenését eredményezi, mert a levelek gyors öregedése és a fotoszintézis csökkenése korlátozza a magok számára elérhető asszimilátumok mennyiségét.

A szója szárazsággal és tápanyaghiánnyal szembeni tűrőképességét különböző morfofiziológiai jellemzők is befolyásolják, amelyek vagy növelik a vízfelvételt, vagy csökkentik a légkörbe történő vízvesztést (Franchini et al., 2017). A szója akár 1,5-2 méter mélyre lehatolni képes gyökérrendszere orsó alakú főgyökérből és belőle dúsan elágazó oldalgyökerekből áll (Szabó, 1987). A gyökérágakon további másod- és harmadrendű elágazások találhatóak, melyekkel képes gazdagon átszőni a talajt (Pál, 1983). Kurnik és munkatársai (1987) megállapították, hogy a szója gyökérzetének 92%-a a talaj legfelső 20 cm-es rétegében helyezkedik el, a talaj felső rétegére korlátozódó gyökérzettel rendelkező növényeket pedig gyakran érinti a vízhiány (Battisti – Sentelhas, 2017). A talaj alacsony víztartalma a vegetatív szakaszban csökkenti a gyökérnövekedést, illetve a szárazság megváltoztatja a szója gyökérzetének relatív eloszlását a talajprofilban, növelve a mélyebb rétegekben lévő gyökerek arányát (Franchini et al., 2017). A növények egyik alkalmazkodási mechanizmusa a vízstressz elviselésére, hogy fokozzák a fotoasszimilátumok gyökerekbe történő transzlokációját és a gyökerek mélyebb talajrétegekbe való kiterjesztését (Franchini et al., 2017). A szója gyökérnövekedése a vegetatív szakaszban vízhiányos állapotban többnyire

alacsonyabb, ami az alacsony talajnedvesség tartalomból eredő nagyobb talajellenállásnak tudható be a gyökérrel szemben (Franchini et al., 2017). A talaj mechanikai ellenállása a gyökérnövekedéssel szemben közvetlenül a talaj térfogatsűrűségével, és fordítottn a talaj víztartalmával változik, ezáltal a gyökérnövekedés még akkor is károsodhat, ha nincs talajtömörödés, ha a talaj víztartalma elég alacsony ahhoz, hogy a talaj mechanikai ellenállása korlátozó legyen (Franchini et al., 2017). Mélyebb gyökérszint esetén nő a növény számára elérhető teljes talajnedvesség mennyisége (Singh et al., 2014). Battisti és Sentelhas (2017) vizsgálataikban megfigyelték, hogy a szója termés hozama a sekélyebb gyökérrendszerektől a mélyebbek felé haladva fokozatosan nőtt, 500 és 2500 kg/ha között, bebizonyítva, hogy a jobb gyökérprofil-eloszlás növeli a szója átlagos termés hozamát és csökkenti a termés évközi ingadozását, főként ott, ahol a vízhiány problémát jelent. Benjamin és Nielsen (2006) ellenben arra a következtetésre jutott vizsgálataik során, hogy a szója gyökereinek mélységgel való relatív eloszlását nem változtatja meg a vízhiány, ami arra utal, hogy ezt a jellemzőt valószínűleg más tényezők, például a fajta és a talaj tulajdonságai befolyásolják.

Rendkívül érzékenyen reagál továbbá a vízstresszre a szója biológiai nitrogénmegkötése, amely szinte teljes egészében biztosítja a növény nagy a nitrogénigényét (Santos et al., 2018). A súlyos stressz a nitrogénmegkötés gátlásához vezethet, ami viszont csökkent termés hozamot és megváltozott kémiai összetételű magokat eredményez (Santos et al., 2018). A növény biológiai nitrogénmegkötő képességét kedvezőtlenül befolyásolhatja továbbá a túlzott csapadékos időjárás is (Kulmány et al., 2020). A szója érzékeny a talaj pangó víz okozta levegőtlenedésére (Kuszák – Vadász, 2022), mely szintén a biológiai nitrogénmegkötés csökkenését, a levél klorofilltartalmának kedvezőtlen változását, lassú növekedési ütemet és alacsony magtermést eredményez (Bacanamwo, 1999; Sullivan et al., 2001). A szénasszimilációs sebesség drasztikus csökkenése a sztómák záródása miatt szintén jellemző a pangó víz nyomta szójára, amely a növények alacsony transzspirációját eredményezi (Oosterhuis et al., 1990). Mindezek okán meleg és száraz körülmények között a szója termésmennyisége 40-65%-kal csökkenhet (Engels et al., 2017). Az átlaghőmérséklet emelkedése, a csapadék eloszlásának megváltozása és az aszályos körülmények fokozódása tehát a növények termelékenységének csökkenéséhez vezet.

A szóját érő hő és vízstressz hatásainak megelőzésére vagy enyhítésére több agrotechnikai stratégia közül is választhatunk, mint például szárazságtűrő, jobb vízhasznosítású fajta választása, a korai vetés, vagy akár az öntözés. A rendelkezésre álló vízkészletek folyamatosan csökkenése miatt a növények vízhiányos környezethez való alkalmazkodására és a vízfelhasználás nagyobb hatékonyságára van szükség annak érdekében, hogy egységnyi vízből

több élelmiszert lehessen előállítani (Basal – Szabó, 2019). Ezért igen fontos, hogy olyan genotípusokat használjunk, amelyek a rendelkezésre álló talajnedvességet a legjobban kihasználják és hatékonyabban hasznosítják (Basal, 2017). A szárazság leküzdése érdekében alkalmazható többek között a korai vetés stratégiája is, hiszen a gyors és egyenletes keléshez, fejlődéshez és a kívánatos termésszint kialakulásához jelentős nedvességtartalékokra van szükség (Syromyatnikov et al., 2023), ami ezáltal potenciálisan ahhoz vezethet, hogy a növények elkerüljék a szárazság okozta stresszt a későbbi nyári hónapokban (Rosenzweig – Tubiello, 2007). A vetésnél azonban szem előtt kell tartani, hogy a denzitástól nagymértékben függ a szója hajtásrendszerének oldalhajtásokra való elágazódásának mértéke, ami szintén befolyásolhatja a termőképességet (Kurnik et al., 1987). Az öntözés az aszály és a hőstressz terméshozamra gyakorolt negatív hatásainak leküzdésére alkalmazható egyik legfontosabb stratégia (Basal – Szabó, 2019; Timilsina et al., 2023). Zhang és munkatársai (2015) arról számoltak be, hogy az öntözés képes kompenzálni a nagy hőség okozta termés kiesés mintegy kétharmadát a szója termésmennyiségében. Narolia és munkatársai (2021) is a terméshozam, a szárazanyag-termelés és a növekedési ütem jelentős növekedéséről számolt be a virágzás és a hüvelyfejlődés szakaszában végzett öntözéssel. Az elmúlt évtizedekben a magas víz- és öntözőberendezés árak miatt a szója öntözése a magyar gazdálkodók számára azonban nem volt opció (Anda et al., 2020), emiatt különösen fontos, hogy elősegítsük a hulló csapadék minél nagyobb arányú talajba szivárgását, illetve már a talajban meglévő vizet óvjuk, ami a nedvességkímélő talajművelés alkalmazását kívánja meg.

1.4. A talajművelés hatása a talajnedvességre és a szója termesztésére

A talaj a Föld szilárd kérgének laza, termékeny rétege, amelynek állapota és minősége nem állandó, ezáltal megújulhat, illetve leromolhat (Birkás, 2011). A talajművelés a növénytermesztést megalapozó elem, amely megelőzi a növénytermesztés egyéb technológiai elemeit, elsődleges feladatai közé tartozik a táj- és környezetvédelem keretében a talaj kedvező fizikai és biológiai állapotának megőrzése vagy javítása a talajvédelem és a termesztés szükséges feladatainak megfelelő módon és mélységben, valamint a nem kívánatos változások megelőzése (Birkás, 2011; Brezinščak – Bogunović, 2021). A talajművelésnek rövid távon pozitív és negatív hatásai lehetnek az agrárökoszisztémára (Bozóki et al., 2022). Annak eldöntése, hogy egy adott termőhelyen melyik talajművelési rendszert alkalmazzuk, ma már sokkal inkább a talaj tulajdonságai és az elvárt hozam alapján, mint sem a kórokozókkal és kártevőkkel kapcsolatos problémák vagy a gépi korlátok alapján választható meg (Kladivko et al., 1986). A talajművelés nem befolyásolja a talaj természetes tulajdonságait (pl.

szemcseméret-eloszlás, agyagtartalom, pH-érték), de közvetve és közvetlenül is megváltoztatja a talaj fizikai állapotát (Birkás, 2011). A talaj vízháztartásbeli egyensúlyának, biológiai aktivitásának és szervesanyag-egyenlegének változásai közvetett változások, de a talajok és a növénytermesztés jövője szempontjából rendkívül fontosak (Birkás, 2011).

A talaj vízgazdálkodása alatt a talajban fellelhető víz mennyiségének, állapotának, formájának és mozgásának időbeni és térbeni változása értendő, amibe a talajművelés által beavatkozva mi magunk is hatást gyakorlunk a természetett növény vízellátására (Gyuricza, 2001c), ezáltal a talaj nedvességtartalma egyike azoknak a tényezőknek, amelyek leginkább képesek a növénytermesztés eredményességét meghatározni (Gyuricza, 2001a). Megfelelő talajművelés végzésével a talaj tulajdonságai javulhatnak és a kitétség hosszú távon csökkenthető (Bozóki et al., 2022), hiszen a talaj vízháztartását a talajművelés a talajszerkezetre, a párolgási viszonyokra, a beszivárgási körülményekre, valamint a felszíni lefolyásra gyakorolt hatása által megváltoztatja (Csorba et al., 2011).

A szántóföldi növénytermesztés számára akkor megfelelő a talaj vízgazdálkodása, ha a talajfelszínre jutó csapadék nagy része anélkül szivárog a talajba, hogy pangana a felszínen, ugyanis az adott talajra jellemző szabadföldi vízkapacitást meghaladó felszíni és a felszín alatti víztöbblet káros a növénytermesztésre (Gyuricza, 2001c). Birkás és Gyuricza (2004) megállapították, hogy tömörödött talajon a 30 mm-t meghaladó csapadék káros vízpanaszt okoz a tömörödés helyétől függően a felszínen vagy a gyökérszónában. A talajművelés javítja a talaj vízfelvételi képességét, ami így leggyakrabban a csapadéknak 65-70%, de kedvező esetben akár 80%-át is képes felvenni, ám a talajművelés ugyanúgy növelheti a vízvesztéséget is (Birkás, 2011). A talajhasználat vízvesztőnek tekinthető, amennyiben művelési eredetű hiba miatt gátolt a hullott csapadék talajba szivárgása és a talaj vízkészletének hasznosulása (Birkás – Gyuricza, 2004). A szerkezetes talajokat kisebb nedvességvesztés jellemzi (Demo, 2001). A hagyományos, szántáson alapuló művelési rendszer nem kíméli a talaj szerkezeti állapotát, aminek hatására a talajok tömörödnek, ezzel elveszítik infiltrációs képességüket (Demo, 2001). A direktvetésű területeken általában a mezőgazdasági gépek és eszközök közlekedése miatt a legtömörebb a felszíni réteg, ugyanakkor a talaj bolygatásának hiánya nagyobb folytonosságot biztosít a pórusok számára, így a porozitás hatékonyabbá teszi az oldatok és gázok áramlását (Silva et al., 2022). A direktvetésben a mezopórusok térfogata is nagyobb, ami hozzájárul a nagyobb vízmegtartáshoz, így kisebb kockázatot jelent a termelésre szárazság idején (Silva et al., 2022). Az ülepedett talajjal rendelkező direktvetés és a forgatás nélkül művelt, sekélyen bolygatott talajt eredményező tárcsázás és a kultivátoros kezelések vízbefogadása gyengébb, ugyanakkor a takart felszín miatt kisebb a nedvességvesztésük (Birkás – Gyuricza, 2004). A

talaj kultúrállapotának megőrzéséhez és javításához a lazítás, mint művelet nélkülözhetetlen, hiszen általa csökken a talaj térfogattömege, növekszik a pórustér és benne légtérfogat százaléka, ennek következtében pedig javul a talaj vízbefogadó és tározó képessége (Birkás, 2001). Birkás és Gyuricza (2004) vizsgálataik során kedvezőnek találták a kisebb veszteséget okozó csekély bolygatással járó direktvetést és a mélyebb rétegig jobb vízbefogadást lehetővé tevő lazítást, illetve vízvesztést növelőnek tekintették a tárcsázást a felszín közelében kialakult és az évek múlásával egyre kiterjedtebb tárcsatalp-tömörödés miatt, míg a szántás nedvességforgalmát közepesnek minősítették az eke-talp tömörödés miatt. A tömör rétegek kialakulása és vastagodása miatti tartós talajállapot romlás tehát a nedvességforgalmat korlátozó tényezővé válik a tárcsázott és a szántott talajban. Az eketalp megakadályozza a víz lefelé áramlását, és az esőzések után a víz a tömör rétegek felett felhalmozódva a felső talajréteget több napig telített állapotban tartja, egyben levegőtlen állapotot idézve elő (Birkás, 2011).

A talaj vízháztartásában művelés hatására bekövetkező változások egyúttal a termesztett növény vízfelvételét és terméshozamát is befolyásolja (Csorba et al., 2011; Silva et al., 2022). A különböző talajművelési módokkal termesztett szója különbözőképpen reagál a vízstresszre (Bozóki et al., 2022). Csapadékhiányos tenyészidőben a szárazság befolyását a termesztésre az előző években végzett nedvességgazdálkodás alakítja (Ruzsányi – Lesznyák, 2004). A nedvesség felhalmozódásának folyamatában fontos szerepet játszik az őszi-téli talajművelés (Acharya et al., 2019; Syromyatnikov et al., 2023), mivel a téli félévben lehullott csapadéktól jelentősen függ a talaj tavaszi talajnedvesség készlete (Pető – Huzsvai, 1991). Az aszály okozta veszteségek nem előzhetők meg azokban a talajokban, ahol évek óta vízvesztést növelő talajművelést alkalmaznak (Birkás, 2011). A hagyományos művelésben, vagyis a szántásban részesített területeken a vízhiányos körülmények között a növények sérülékenyebbek, mivel a víz talajba szivárgásának mértéke az eketalp tömörödés miatt alacsonyabb, a tárolókapacitás a folyamatos szerkezetromboló művelés következtében kisebb, emiatt a növények vízzel való ellátottsága is kisebb (Silva et al., 2022), viszont a szántott talaj elmunkáló hengerrel történő lezárása segít megelőzni a talajnedvesség túlzott elpárolgását, és kedvezőbb feltételeket teremt a szója növekedéséhez és fejlődéséhez (Syromyatnikov et al., 2023). Silva és munkatársai (2022) vizsgálatában a direktvetéses rendszer több nedvességet biztosít a növényeknek, emiatt 7,8%-kal nagyobb szójatermést eredményezett a hagyományos talajműveléshez képest.

Az alpművelés által előidézett lazult réteg mélysége általában megegyezik a talajréteg vízbefogadásra alkalmas mélységével, ahonnan a növények vízfelvételére képesek, emiatt száraz években a vízhiány és a túlzott tömörödöttség egymást súlyosbító kockázati tényezők

(Birkás, 2011). A tömör talaj nem megfelelő élőhely a növények számára, különösen igaz ez, ha a tömörség elégtelen víz- és tápanyagellátással vagy túlzott víztartalommal párosul, amennyiben viszont a talaj elegendő vizet és tápanyagot tartalmaz, a növények kevésbé érzékenyek a talaj lazultságának esetleges hiányára (Birkás, 2011). Kolaric és munkatársai (2014) vizsgálta során az évi csapadék mennyisége és eloszlása úgy változott, hogy a kevesebb csapadékkal járó évben a vízháztartás jelentősen befolyásolta a szója termését, ezzel szemben Birkás (2001) megállapítása szerint viszont egy csapadékos évben a mély és sekélyművelés termésre gyakorolt hatása megegyezhet. Ruzsányi és Lesznyák (2002) szerint a talaj az őszi és téli csapadékból az átlagos 60-75%-os arány helyett még kevesebb vizet fogad be, amennyiben a nedvességforgalmat gátló tömör réteg található a talajban, mindez pedig súlyosabb kiszáradást eredményez a tenyészidőben, ellenben a művelések csekély hatása figyelhető meg a fizikai hibáktól mentes talaj 0-300 cm-es szelvényének nedvességtartalmára. A lazult állapot akkor tartható fenn, ha a talajműveléshez megfelelő nedvességtartalmú talajon, olyan talajművelő eszközökkel, amelyek nem hoznak létre vízzáró, tömör réteget a talajban (Birkás, 2011). Az évről évre azonos mélységben végzett talajművelés káros hatású gyökérszóna-tömörödéshöz vezet (Birkás et al., 2009). A vízfelvételt és a víz gyökérszónába való beszivárgását akadályozó tömör rétegeket fel kell bontani, helyreállítva ezzel a talaj harmonikus vízszállítását (Birkás, 2011). Petó és Huzsvai (1991) kutatásában a szója betakarításkori talajnedvesség alakulását tekintve a 0-200 cm talajszelvényben a szántásos változatban jelentősen magasabb érték volt kimutatható a tárcsázott változathoz képest. A csökkentett talajművelési rendszerek általában magasabb talajnedvesség tartalommal rendelkeznek a vegetációs időszak nagy részében, a megnövekedett beszivárgás és csökkent a párolgás miatt (Kladivko et al., 1986).

Megjegyzendő ugyanakkor, hogy a talajművelési rendszerek hatása a növények növekedésére és terméshozamára változó, mivel a növények növekedése ritkán függ közvetlenül egy adott talajtulajdonságtól, hanem számos genetikai és környezeti tényező összetett integrációja (Kladivko et al., 1986). Micucci és Taboada (2006) vizsgálatában például a talaj természetes tulajdonságai, és nem a talajművelési rendszerek voltak az elsődleges befolyásolói a szója gyökérnövekedésének.

1.5. A talajművelés hatása a talaj szén-dioxid kibocsátására és a szója termesztésére

Napjaink egyik legnagyobb globális kihívása a szén-dioxid (CO₂) és más üvegházhatású gázok emberi tevékenységek folytán növekvő koncentrációja a légkörben, ami egyike a globális felmelegedést okozó főbb tényezőknek (Shakoor et al., 2021). Az antropogén tevékenységek, beleértve a mezőgazdasági gyakorlatokat is, az ipari forradalom óta jelentősen megnövelték a CO₂ légköri koncentrációját, az 1750-es 280 ppm-ről 2018-ra 408,5 ppm-re (Li et al., 2022). A mezőgazdaság a globális CO₂-kibocsátásnak 5%-át teszi ki (Láng, 2003), amelyhez a biomassza elégetése, az erdőirtások, és a földhasználatban előidézett egyéb változások további 8 %-ot tesznek hozzá (Gyuricza, 2001b). Becslések szerint a mezőgazdaság felelős a talaj teljes CO₂-kibocsátásának 12%-áért (Li et al., 2022). A földhasználat és az üvegházhatású gázok növekvő légköri koncentrációja közötti összefüggéseket az Egyesült Államokban kezdték el tanulmányozni az 1980-as években, azzal a céllal, hogy az ott jellemző nagy táblamérettekkel rendelkező parcellák művelése miatt a légkörbe jutó szén-dioxid-kibocsátást csökkentsék (Törő et al., 2018). A szántóföldi növénytermesztésben alkalmazott gazdálkodási gyakorlatok közvetlenül vagy közvetve befolyásolhatják a talaj CO₂-kibocsátását az egyes tevékenységek révén, beleértve a talajművelést, a tápanyagutánpótlást, az öntözést, vagy akár a vetést is (Wiriyaningsakul et al., 2006; Li et al., 2022). Habár globális léptékben egy mezőgazdasági terület CO₂-kibocsátása elenyésző egy azonos méretű területen működő nagyüzemi ipari létesítmény CO₂-kibocsátásához képest, de a mezőgazdasági területek, kiemelve a szántóföldeket, globálisan nagy kiterjedésűek (Guan et al., 2018; Törő et al., 2018), ezért a mezőgazdasági területek hatékony kezelése a talajban történő szénmegkötés révén potenciális eszközt jelent a légköri CO₂ csökkentésére.

A talaj a szárazföldi ökoszisztémában a CO₂-kibocsátás legnagyobb forrása (Bahn et al., 2009; Kandel et al., 2016). Azt a folyamatot, amely során a talajok a légkörbe szén-dioxidot bocsátanak ki, talajlégzésnek nevezzük (Bond-Lamberty – Thomson, 2010), ami a globális szén ciklus egyik fő, ugyanakkor rendkívül bizonytalan összetevője, mely változó éghajlati körülmények között potenciálisan befolyásolja a légköri CO₂-koncentrációt (Gelybó et al., 2022). A talaj CO₂-tartalma magasabb a légköri levegőhöz képest, ami azt jelenti, hogy az ökoszisztémák és a talaj fontos CO₂-nyelő, de egyben a légkörbe történő CO₂-kibocsátás potenciális forrásává is válhat (Madalina et al., 2020). Kutatók feltételezik, hogy a talajok pozitív visszacsatolást biztosítanak az éghajlat felmelegedésére a talaj CO₂-kiáramlásnak a hőmérsékletre adott exponenciális válasza miatt, azonban a talaj és a légkör közötti gázcsere

számos összetett és nem lineáris összefüggés által befolyásolt, mint például a fiziológiai, biokémiai, kémiai, ökológiai és meteorológiai feltételek (Reth et al., 2005).

A talaj egy összetett és dinamikus biológiai rendszer, amelynek funkcióit élő szervezetek sokfélesége közvetíti (Bozóki et al., 2022). A talajlégzés a teljes talajbióta biológiai aktivitását jelenti, beleértve a talajban élő mikrobákat (baktériumok, gombák, algák), növényi gyökereket és makroorganizmusokat (földigiliszták, fonálférgék, rovarok) (Reth et al., 2005; Kandel et al., 2016), mely talajtípustól és a tenyészedőszaktól függően változatos arányban tartalmaz autotróf és heterotróf komponenseket (Klimek-Kopyra et al., 2021). A talaj autotróf légzése a növényi anyagcserétől, a finomgyökerek mennyiségétől és a talaj szénkészletének minőségétől (Bond-Lamberty – Thomson, 2010), míg a talaj heterotróf légzése a mikrobiális populáció típusától és méretétől függ, tehát a talajlégzés a talaj autotróf és heterotróf légzésének összege (Madalina et al., 2020). A gyökerekből származó CO₂ a becslések szerint a teljes CO₂-áram 40-60%-át teszi ki (Raich – Schlesinger, 1992), bár ezek az értékek erősen függenek a növényzet növekedési szakaszától, különösen a mezőgazdasági talajokon.

A talajlégzést számos tényező befolyásolja, de a talajhőmérséklet és a talajnedvesség a két legfontosabb szabályozó tényező (Reth et al., 2005; Araki, 2006; Wiriyatangsakul et al., 2006). A magasabb talajhőmérséklet serkenti a mikrobiális aktivitást, és ezáltal növeli a szerves anyag bomlási sebességét, következésképpen gyorsítja a talaj heterotróf légzését (Wiriyatangsakul et al., 2006; Zhang et al., 2021). A talaj nedvessége, továbbá a csapadék mennyisége és időzítése is befolyásolja a talajlégzést (Reth et al., 2005). Araki (2006) megfigyelései szerint augusztusban, amikor a hőmérséklet magas volt, a talaj CO₂-szintje közvetlenül az esőzések után gyorsan emelkedett. A talajlégzés jellemzően a talaj víztartalmára több folyamat, például az oxigénlimitáció, a diffúzió és az ozmotikus stressz integrálásával reagál (Zhang et al., 2021).

A szénvesztés okozó talajállapot pontosan ugyanaz a talajállapot, amely a vízvesztés okozója (Birkás, 2011). A hagyományos talajművelés az éghajlati változások egyik meghatározó előidézője, ugyanis a talaj ekével való rendszeres forgatása jelentősen növeli a szántóföldek CO₂-emisszióját (Gyuricza, 2001b), mindemellett a többszöri talajművelési munkamenetek üzemanyag-fogyasztása közvetett környezetszennyező tényező (Birkás, 2011). A talajművelést közvetlenül követő magasabb CO₂-kibocsátás a talajlevegő porustérből gyorsan felszabaduló CO₂-vel magyarázható, a talajműveléssel járó bolygatás miatt megnövekedett szerves szén rendelkezésre állásával és oxidációjával együtt (Zhang et al., 2021). Sokévi intenzív művelés a talaj humifikált és ásványosodott szerves anyagainak fogyását idézi elő az aerob légzési folyamatok serkentése által (Szabó, 1992), mely hatást gyakorol a talaj szerkezetére és talajfizikai stabilitására, a vízgazdálkodási tulajdonságaira és a tápanyag

kicserélő képességére, növekszik a talaj degradációs folyamatoknak való kitétsége és aszályérzékenysége (Gyuricza, 2004), ami nagy veszteséget jelent a termesztésre nézve (Birkás – Gyuricza, 2004). Gyuricza (2001b) szerint a talaj szénkészlete az intenzív művelési eljárások végett 30-50 %-kal is csökkenhet, ugyanakkor a környezetkímélő technológiák alkalmazásakor évente akár 1 tonnával is növekedhet a talaj humusztartalma hektáronként. A környezetkímélő talajművelési technológiák bizonyítottan növelik a talaj szervesanyag-tartalmát (Kladivko et al., 1986), emellett a részben vagy teljesen növényi maradványokkal takart talajfelszín miatt mérséklődik a talaj evaporációja, ami a szárazságra hajlamos térségekben akár nagyobb terméseredmények eléréséhez is vezethet a hagyományos műveléshez képest (Gyuricza, 2001b). A talaj szervesanyag-tartalmát óvni szükséges, mivel az nélkülözhetetlen a vízmegtartáshoz, a talaj megmunkálhatóságának fenntartásához, a tömörődéssel szembeni ellenálláshoz és az éghajlati kockázatok mérsékléséhez (Birkás, 2011). A lazító és morzsalékképző talajművelés megfelelő tömörítéssel párosulva biológiai szempontból is előnyösebb, mivel a talaj levegőzöttségének csökkenését eredményezi, ami viszont korlátozza az aerob mikrobiális aktivitást (Birkás, 2011).

A kultúrnövények eltérően reagálnak a talaj gázcseréjére és levegőtartalmára. Az évszak, a napszak, a talajsajátosságok, a talaj élőlények biológiai aktivitása, a termesztett növény és annak termesztéstechnológiája együttesen nagymértékben befolyásolják a talajlevegő összetételét, ami átlagosan 20,5 % O₂-t és 0,25 % CO₂-t tartalmaz, azonban rosszul szellőző, nedvességgel telített talajban a CO₂ szinte teljesen kiszoríthatja az oxigént a talajból, miközben szintje elérheti a gyökerek számára már toxikus 6 %-ot, amivel akár a növény pusztulását is eredményezheti (Gyuricza, 2001c). A gyökérszóna magas CO₂ koncentrációja gátolja a szója növekedését a vízfelvétel és/vagy a sztómák nyílása csökkenésén keresztül (Araki, 2006). Araki (2006) kutatása során tapasztalta, hogy a gyökerek hidraulikus vezetőképességét jelentősen csökkentette a gyökérszóna magas CO₂-koncentrációja, ezáltal a sztómák záródása a levél vízellátottságától függetlenül is bekövetkezhet, emellett a hajtás csökkent nitrogénellátását is okozhatja. A toxikus gázok, mint például a szén-dioxid és a kénhidrogén koncentrációjának növekedésével együtt jár az O₂ koncentráció csökkenése, ugyanakkor Araki (2006) szerint a hipoxia önmagában alig befolyásolja a szója sztómális nyílását vagy transzspirációját, amit alátámaszt, hogy Boru és munkatársai (2003) arról számoltak be, hogy a hidroponikusan termesztett szója szárazanyag-termelését inkább az oldott CO₂ magas koncentrációja csökkentette, mint az oxigénhiány. A szerkezetes talajok esetén viszont akadály nélküli az O₂ talajba és a CO₂ talajból való diffúziója (Demo, 2001), ezért is fontos, hogy olyan talajművelési eljárást alkalmazzunk, amely óvja a talaj szerves szénkészletét, ezáltal pedig a talajszerkezetet.

Habár Qiao et al., (2023) szerint a megnövekedett légköri CO₂-koncentráció várhatóan a „CO₂-trágyázó hatása” révén a szója, mint C3-as növény növekedésének kedvez, mivel serkenti a fotoszintézis mértékét és csökkenti a transzspirációt. Ainsworth – Long (2021) is arról számolt be, hogy a C3-as növények terméshozama 18%-kal nőhet stresszmentes körülmények között a CO₂-koncentráció 200 ppm-es növekedése esetén, ugyanakkor ez 10%-ra korlátozódhat, amennyiben a hőmérséklet 2 °C-kal emelkedik. A vízhiánnyal együtt járó magasabb léghőmérséklet a C3 növények esetében a CO₂-emelkedés pozitív hatása mellett is korlátozhatja a terméshozamot (Ainsworth – Long, 2021).

1.6. Az irodalmi áttekintés főbb megállapításai

- Változó éghajlatunk kedvezőtlenül fogja befolyásolni a szója termeszthetőségét a Kárpát-medencében, amire szükséges felkészülnünk.
- A szója különböző morfológiai és fiziológiai változásokkal reagál az aszályra, ami termésdepressziót von maga után.
- A talaj magas mechanikai ellenállása – legyen az művelési eredetű hiba vagy az alacsony nedvességtartalom miatt, gátolja a szója gyökérnövekedését.
- A különböző talajművelési módokkal termesztett szója különbözőképpen reagálhat a vízstresszre.
- A hagyományos talajművelést képviselő szántás a forgatás révén nagymértékű bolygatással és takaratlan talajfelszín hagyva maga után a legnagyobb nedvességvesztést és CO₂-kibocsátást eredményezi. Ellenben a forgatás nélküli kímélő művelések és a direktvetés alkalmazása csökkenti ezen veszteségeket a mérsékelt bolygatás, a takart felszín és a szerves szénkészlet gyarapítása által.
- Elő kell segíteni a csapadék minél nagyobb arányú infiltrációját, illetve a talajban lévő nedvesség maximális megőrzését célzó talajművelési gyakorlatok alkalmazása ajánlott.
- Olyan talajművelési módszer alkalmazása kedvező a talajnak, amely a csökkentett bolygatás révén kíméli annak szerkezetét és szervesanyag tartalmát, amik pozitívan hatnak a talaj vízgazdálkodására is.
- A talajban lévő tömörödött rétegek kedvezőtlenül hatnak a talaj vízgazdálkodására a csapadék infiltrációjának akadályozásával, ezáltal pangóvíz kialakulását idézik elő.
- A gyökérszóna megnövekedett CO₂-koncentrációja és a pangóvíz okozta hipoxia csökkenti a növény transzspirációját, vele együtt a növény nitrogénellátását, ami szintén csökkentheti a terméseredményt.

2. Anyag és módszer

2.1. A szántóföldi kísérlet körülményeinek bemutatása

2022. októberétől 2023. októberéig tartó kutatásom helyszínéül a MATE Tangazdaság Nonprofit Kft. Józsefmajori Kísérleti- és Tangazdaság (Hatvan) F10 tábláján Prof. Dr. Birkás Márta és Prof. Dr. Gyuricza Csaba által 2002-ben beállított talajművelési tartamkísérlete (*1. ábra*) szolgált.



1. ábra A szójaállományról készült műholdfelvétel 2023. augusztusában
(*Forrás: Saját szerkesztés a MePAR Böngésző alapján*)

2.2. Földrajzi fekvés és domborzati viszonyok

A talajművelési tartamkísérlet területe 5 km-re Hatvan városától ÉNy-ra, és 55 km-re Budapesttől ÉK-re, az Észak-alföldi hordalékkúp-síkság nevezetű középtáj két kistájának - a Cserhátalja és a Hatvani-sík - határán található. A tartamkísérlet környezetében változatos domborzati viszonyok jellemzőek, emiatt néhol erózió jelensége figyelhető meg.

2.3. Éghajlati tényezők

A területen 9,5 – 10,3°C-os évi középhőmérséklet a jellemző, amely a vegetációs időszakban 16,3–17,5°C közötti értéként alakul. Az éves csapadékmennyiség sokévi átlagban 580 mm amelyből a vegetációs időszak során 323 mm hullik (Bottlik, 2016). Az *1. táblázat* tartalmazza a józsefmajori telephelyen mért a 2022. és a 2023. évi csapadék adatokat, havi bontásban. A 2022-es évben 475,2 mm, a 2023-as évben pedig 849 mm csapadék hullott összesen a területen. Dövényi (2010) leírása szerint a terület ariditási indexe 1,20–1,33 értékek között alakulhat, a napsütéses órák száma 1920–1980 között változik, az átlagos szélesség 2–3 m/s, az uralkodó szélirány pedig ÉNy-i és a DK-i.

1. táblázat A vizsgálati időtartamra vonatkozó csapadékadatok (mm) havi és éves bontásban

(Forrás: Saját szerkesztés a telepi mérések és Bottlik, (2016) nyomán)

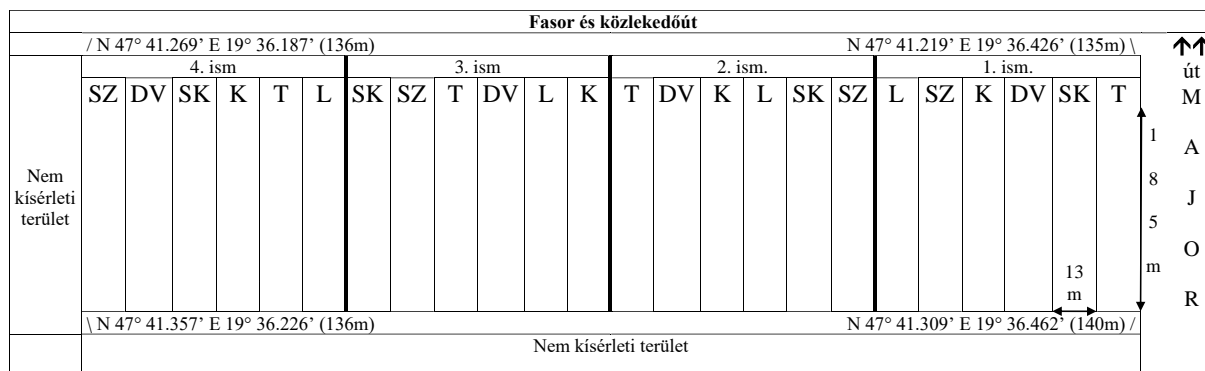
Hónap/Év	Sokévi átlag	2022	2023
Január	40	2	105
Február	34	3	12
Március	36	24	43
Április	42	59	30
Május	66	11,5	83,5
Június	70	58	75
Július	52	25	68
Augusztus	50	59	179,5
Szeptember	43	85	23
Október	50	26,3	73
November	55	46	104
December	42	76,4	53
Összesen	580	475,2	849

2.4. Talajadottságok

A kísérleti terület vályog fizikai féleségű, mészlepedékes csernozjom talajon található, amely a 0-40 cm rétegben átlagosan 2,83 % szervesanyag-tartalommal és kedvező a vízgazdálkodással rendelkezik, a kémhatása pedig gyengén savanyú (Dövényi, 2010).

2.5. A kísérlet kezelései, termesztéstechnológiai leírása

A talajművelési tartamkísérletben hat, az alpművelés jellegében különböző talajművelési kezelés került beállításra, amelyek a 12-16 cm mélyen végzett Tárcsázás (T), a 28-34 cm mély, hengerrel elmunkált Szántás (SZ), a 40-45 cm mély Lazítás (L), a 22-25 cm mély Kultivátoros művelés (K), a 18-22 cm mély Sekély kultivátoros művelés (SK), valamint a művelés nélküli, csupán a vetés mélységéig bolygatott Direktvetés (DV). Az egyes kezelések négy ismétlésben, sávos véletlenszerű elrendezésben lettek beállítva, melyek elrendezését a 2. ábra mutatja be. Az F10-es tábla teljes területe 5,772 hektár, ennek értelmében a kísérletet 24 darab egyforma nagyságú, egyenként 185 m hosszú és 13 m széles, 2405 m² alapterületű parcella alkotja. Az egyes parcellákon 3 ismétlésben végeztem a vizsgálatokat.



2. ábra A kísérlet beállításának sematikus ábrája

(Forrás: Saját munka)

A kísérleti területen az őszi árpa elővetemény 2022. június 19-én került betakarításra. A terület gyommentesen tartása érdekében 2022. augusztus 26-án Glyphosate gyomirtószerrel 5 l/ha dózisban kémiai gyomszabályozás történt. Az alpművelésre (**M1. kép**) 2022. október 05-én került sor a már leírtak szerint. 2022. november 03-án ismételt kezelés történt Glyphosate gyomirtószerrel 5 l/ha dózisban. 2023. március 31-én kémiai gyomirtás volt szükséges *Veronica* fajok ellen Marsh 480 S1 gyomirtószerrel 4 l/ha dózisban. A vetést megelőző napon, 2023. április 27-én 200 kg/ha dózisban Pétisó (N 27%, Ca 5%, Mg 3%) került kijuttatásra alaptrágyaként. A kísérlet alanyául szolgáló Aliz fajtájú szója 2023. április 28-án, Väderstad Rapid 300C gabonavetőgéppel lett elvetve 100 kg/ha vetőnormával, duplagabona sortávra (**M4. kép**). Ugyanezen a napon, a vetést követően preemergens kezelés is történt Wing P gyomirtószerrel 5 l/ha dózisban. Napraforgó árvakelés ellen 2023. június 05-én Benta 480 S1 gyomirtószerrel 2 l/ha dózisban szükséges volt post kezelés elvégzésére, továbbá 2023. június 20-án és 2023. július 13-án mechanikai gyomszabályozás is történt kapálás útján. A szója állományszárítására 2023. szeptember 5-én került sor az akkor szükséghelyzeti engedéllyel rendelkező Dessicash 20 SL deszikkáló szerrel, 2 l/ha dózisban. A szója betakarítása 2023. szeptember 28-án zajlott Claas Lexion 660 kombájnnal. Az őszi búza utóvetemény alá történő alpművelésre 2023. október 11-én került sor (**M8. kép**).

2.6. Vizsgálatok módszerei

2.6.1. A talajnedvesség mérése

A talaj nedvességtartalmának mérése a Kapacitív Kft. által gyártott és forgalmazott PT-1 típusú mérőműszer alkalmazásával valósult meg, amely 0-60 cm mélységig képes tömegszázalékban kifejezett helyszíni pontszerű nedvességmérésre a talaj elektromos ellenállásának mérése által, ami a talaj nedvességtartamával fordítottan arányosan csökken. A

havi rendszerességgel végzett mérések során a talajfelszíntől indulva 5 cm-es léptékben 50 cm mélységig történt a pontszerű nedvességmérés (*M2. kép*). A talajnedvesség mérése mellett a Józsefmajori Kísérleti- és Tangazdaság telephelyén elhelyezett hagyományos csapadékmérő henger segítségével mért napi csapadékmennyiség adatok is feljegyzésre kerültek.

2.6.2. A CO₂-emisszió vizsgálat

A havi rendszerességgel végzett szén-dioxid kibocsátás vizsgálatához hordozható, statikus zárt kamrás mérési módszert alkalmaztam. A levegő CO₂-koncentrációja a talaj CO₂-kibocsátása következtében megváltozik a zárt kamrában. A CO₂-koncentráció változását PP Systems EGM-5 típusú infravörös-gázanalizátor segítségével mértem (*M3. kép*). A gázanalizátor működése során a beállított 30 másodperces mérési idő alatt a kamra CO₂-koncentráció növekedésének mérésével számítja ki légzésintenzitást g/m²/h mértékegységben. Az EGM-5 szoftvere a mért adatokra lineáris illesztést (L-érték) és kvadratikus illesztést (Q-érték) is számol. A kvadratikus illesztésnél ellenőrzi, hogy lineárisak-e az adatok, ugyanis minél nagyobb a kvadratikus kifejezés, annál nagyobb eltérésre lehet következtetni a linearitástól (Kandel et al., 2016).

2.6.3. Termés vizsgálata

A 2023. szeptember 13-án végzett betakarítás előtti mérésen (*M6. kép*) termésbecslés elvégzésére is sor került, amely során minden egyes parcellában meghatározásra került egy véletlenszerűen kijelölt 1 m²-es reprezentatív mintatéren a növénydenzitás, továbbá a növényenkénti hüvely- és magszám is (*M7. kép*). A szója betakarítása parcellánként külön történt, majd a négy ismétlés kezelésenkénti átlagát vizsgáltam, hogy kiküszöböljem a tábla heterogenitásából adódó különbségeket az egyes kezeléseken belül.

2.6.4. Statisztikai elemzés

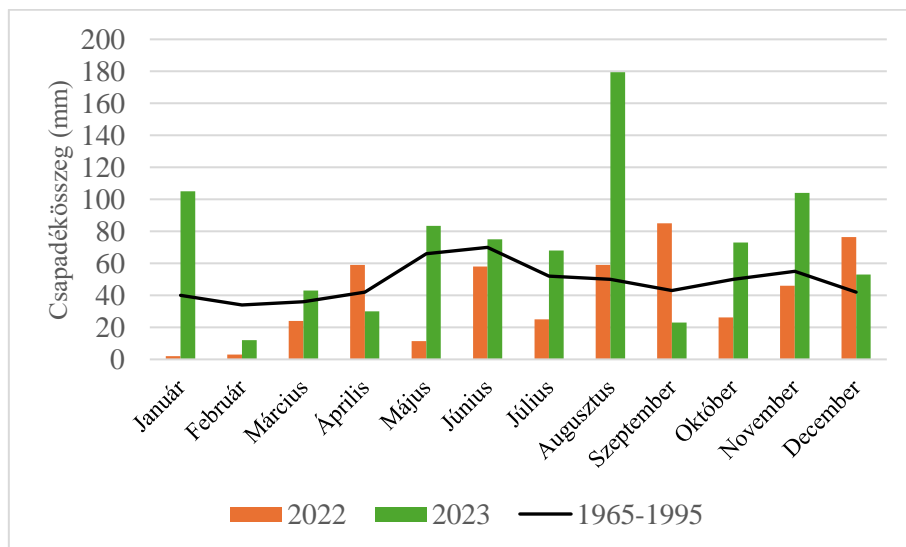
A mért adatok statisztikai kiértékelését az IBM SPSS Statistics 29 és a Microsoft Excel szoftverekkel készítettem. Az elemzéshez egytényezős variancia-analízist (ANOVA) alkalmaztam. Amennyiben a varianciaanalízis szignifikáns eredményt mutatott, a Tukey HSD post hoc próba elvégzésével került sor a jelentős eltérést mutató csoportok meghatározására. Az adatok normalitása Shapiro-Wilk-próbával lett ellenőrizve.

3. Eredmények és értékelésük

3.1. Csapadékviszonyok a vizsgálatok éveiben

A 2022-ben és 2023-ban hullott csapadékmennyiséget a sokéves átlaggal összevetve a 3. ábra szemlélteti. Megállapítható, hogy míg a 2022-es év a sokévi átlagtól negatív, addig a 2023. év pozitív tendenciát mutatott. 2022 első félévében csak az április volt az átlagnál csapadékosabb, a többi hónap pedig rendkívül száraznak bizonyult, ezzel történelmi mértékű aszályt okozva térségünkben. 2022 második félévében váltakozó tendencia volt megfigyelhető. Míg 2022 júliusa az első félévhez hasonlóan továbbra is csapadékszegény volt, addig augusztusban és szeptemberben az átlagnál több csapadék hullott. Az alapművelés hónapjában, októberben, valamint novemberben is a csapadékösszeg ismét a sokéves átlag alatt alakult. Az év utolsó hónapjában pedig a sokéves átlagnál 82 %-kal több csapadék volt megfigyelhető.

2023 januárjában a sokéves átlag 2,6-szorosa esett, amit egy csapadékszegény február követett. A március átlagos csapadékellátottságúnak volt tekinthető, azonban a szójvetés hónapja, az április az átlagnál szárazabb. Májusban, júniusban és júliusban a sokéves átlagértéknél kevéssel több csapadék hullott, azonban augusztusban rendkívüli esemény volt megfigyelhető, mivel 4 nap leforgása alatt 152 mm csapadék hullott, így a 2023 augusztusában rögzített csapadékösszeg a sokéves átlag 359 %-a. A szója betakarításának hónapjában, szeptemberben viszont csupán az ilyenkor szokásos csapadék 53 %-a esett. 2023 utolsó negyedéve a sokévi átlaghoz képest csapadékosabbnak bizonyult.

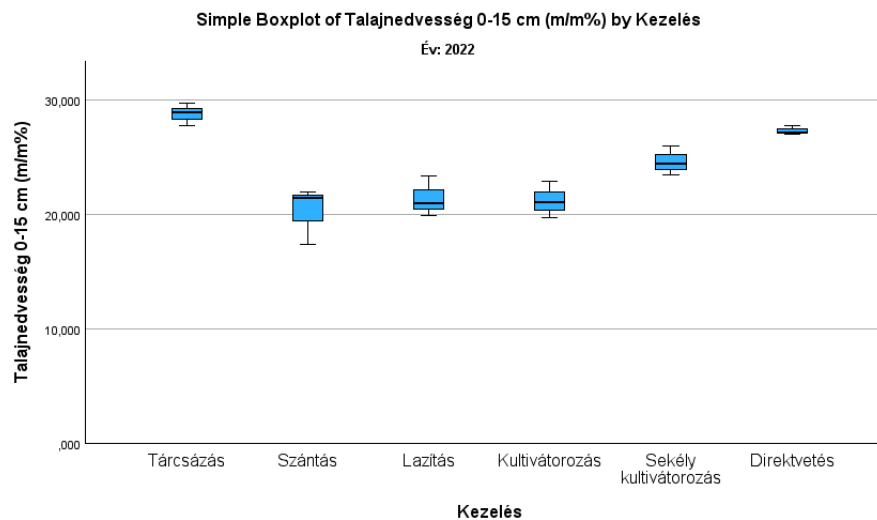


3. ábra Éves csapadék (mm) havi bontásban 2022-2023 között és az 1965-1995 időszak átlaga

(Forrás: Saját szerkesztés a telepi mérések és Bottlik, (2016) nyomán)

3.2. A talajnedvesség vizsgálat eredményei

A mért adatokból származtatott átlagos talajnedvesség értékeket 0-15 cm, 15-30 cm és 30-50 cm-es mélységben vizsgáltam. A 2022. őszi és a 2023. évi talajnedvesség vizsgálatok eredményei a 4-9. ábrán kerülnek bemutatásra.



4. ábra A 2022. őszi mérések talajnedvesség értékeinek kezelésenkénti összehasonlítása 0-15 cm mélységben (*Forrás: Saját munka*)

A 2022. őszi alapművelést követően a 0-15 cm-es rétegben mért talajnedvesség értékek esetében (4. ábra) az ANOVA vizsgálat szerint az egyes kezelések között statisztikailag igazolható különbség figyelhető meg $F(5, 12) = 15,202$, $p < 0,001$. A Tukey HSD post-hoc vizsgálat (2. táblázat) eredményei alapján a Tárcsázásban ($28,767 \pm 0,947$ m/m%) szignifikánsan magasabb értékek lettek regisztrálva, mint a Szántásban ($20,250 \pm 2,524$ m/m%), a Lazításban ($21,394 \pm 1,787$ m/m%) és a Kultivátorozásban ($21,228 \pm 1,600$ m/m%), továbbá a Sekély kultivátorozásban ($24,589 \pm 1,274$ m/m%) és a Direktvetésben ($27,305 \pm 0,394$ m/m%) is alacsonyabb értékek voltak megfigyelhetőek, azonban az ezektől való eltérés nem számottevő. A Szántás nem különbözött szignifikánsan a Lazítástól és a Kultivátorozástól, azonban a Sekély kultivátorozástól és a Direktvetéstől már igen. A Lazítás sem különbözött számottevően e téren a Kultivátorozástól és a Sekély kultivátorozástól, viszont a Direktvetéssel való összehasonlításakor már jelentős a negatív irányú eltérése a vizsgált paraméternek. A Kultivátorozás szignifikánsan alacsonyabb értékkel rendelkezett a Direktvetéssel való összehasonlítás során. A Sekély kultivátorozás nem tért el nagymértékben a Direktvetéstől. A legkisebb minimum érték a Szántásban ($17,350$ m/m%), a legnagyobb pedig a Tárcsázásban ($27,767$ m/m%) volt megfigyelhető. A legalacsonyabb maximum érték szintén a Szántásban

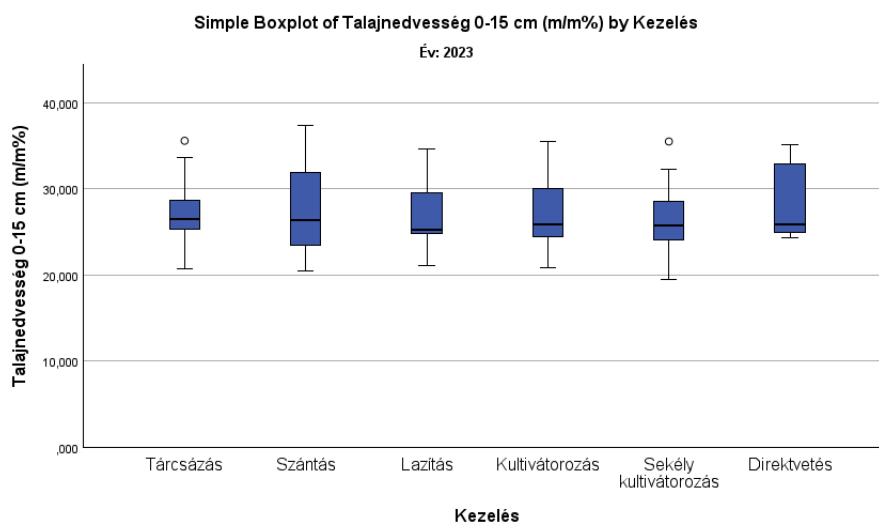
(21,950 m/m%), míg a legmagasabb maximum érték a Tárcsázásban (29,650 m/m%) került rögzítésre.

2. táblázat Post-hoc összehasonlítása a művelések közötti átlagos különbségeknek a talaj nedvességtartalmára gyakorolt hatásuk alapján 0-15 cm mélységben $p < 0,001$ szinten

(Forrás: Saját munka)

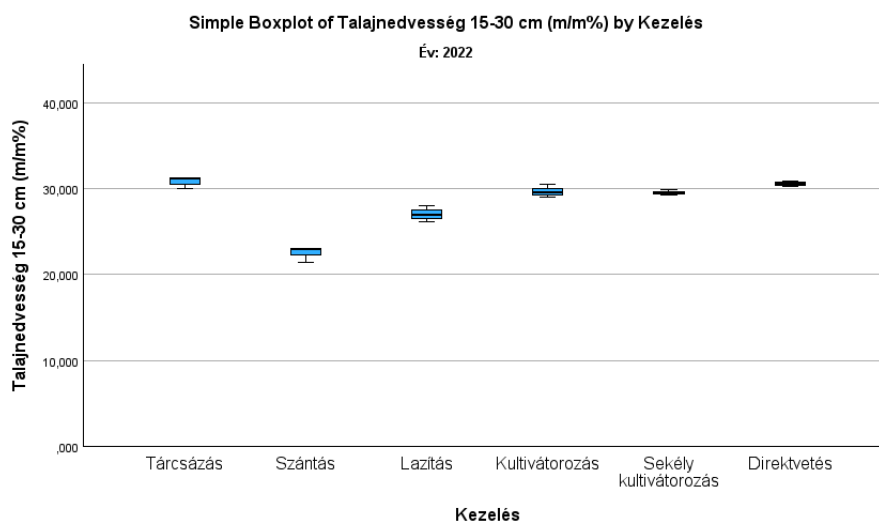
Talajnedvesség 0-15 cm, 2022	Tárcsázás	Szántás	Lazítás	Kultivátorozás	Sekély kultivátorozás	Direktvetés
Tárcsázás						
Szántás	8,516*					
Lazítás	7,372*	-1,144				
Kultivátorozás	7,539*	-0,977	0,166			
Sekély kultivátorozás	4,177	-4,338*	-3,194	-3,361		
Direktvetés	1,461	-7,055*	-5,911*	-6,077*	-2,716	

A 0-15 cm-es rétegben mért talajnedvesség értékek (5. ábra) az ANOVA vizsgálata alapján nem mutattak az egyes kezelések között szignifikáns eltérést 2023-as mérések átlagában $F(5, 114) = 0,522$, $p = 0,759$. A Tárcsázást ($27,614 \pm 3,434$ m/m%) összehasonlítva a Szántással ($27,790 \pm 5,286$ m/m%), Lazítással ($26,614 \pm 3,761$ m/m%), Kultivátorozással ($27,307 \pm 4,135$ m/m%), Sekély kultivátorozással ($26,315 \pm 4,038$ m/m%) és a Direktvetéssel ($28,082 \pm 4,13$ m/m%), nem volt szignifikáns eltérés tapasztalható. A Szántással összevetett Lazítás, Kultivátorozás, Sekély kultivátorozás és Direktvetés között, továbbá a Lazítással összevetett Kultivátorozás, Sekély kultivátorozás és Direktvetés között, valamint a Kultivátorozással összehasonlított Sekély kultivátorozás és a Direktvetés között sem volt szignifikáns a különbség. A Sekély kultivátorozást a Direktvetéshez hasonlítva szintén nem tapasztalható számottevő eltérés. A 0-15 cm-es rétegben a Sekély kultivátorozásnak (19,483 m/m%) volt a legalacsonyabb, míg a Direktvetésnek (24,292 m/m%) pedig a legmagasabb a minimum értéke. A Tárcsázás (20,750 m/m%), Szántás (20,475 m/m%), Lazítás (21,042 m/m%) és Kultivátorozás (20,825 m/m%) minimuma közel azonos szintet mutatott. A legkisebb maximum értékkel a Lazítás (34,600 m/m%) rendelkezik, a legmagasabbal pedig a Szántás (37,417 m/m%). A Tárcsázás (35,583 m/m%), Kultivátorozás (35,533 m/m%), Sekély kultivátorozás (35,500 m/m%), és Direktvetés (35,167 m/m%) maximum értéke – a minimum értékekhez hasonlóan – közel azonosan alakult.



5. ábra A 2023. évi mérések talajnedvesség értékeinek kezelésenkénti összehasonlítása 0-15 cm mélységben (*Forrás: Saját munka*)

A talajnedvesség értékek a 15-30 cm-es rétegben (6. ábra) a 2022. őszi alpművelés után mérve az ANOVA vizsgálata alapján szignifikánsan különböztek az egyes kezelések között $F(5, 12) = 61,810$ $p < 0,001$.



6. ábra A 2022. őszi mérések talajnedvesség értékeinek kezelésenkénti összehasonlítása 15-30 cm mélységben (*Forrás: Saját munka*)

A 3. táblázat a Tukey HSD post-hoc vizsgálat eredményeit szemlélteti, amely szerint a Tárcsázásban ($30,783 \pm 0,708$ m/m%) szignifikánsan magasabb értékek voltak megfigyelhetők, mint a Szántásban ($22,489 \pm 0,899$ m/m%) és a Lazításban ($27,044 \pm 0,895$ m/m%), miközben a Kultivátorozástól ($29,661 \pm 0,744$ m/m%), a Sekély kultivátorozástól ($29,505 \pm 0,317$ m/m%) és a Direktvetéstől ($30,544 \pm 0,368$ m/m%) való különbözősége nem volt statisztikailag

igazolható. A Szántás szignifikánsan alacsonyabb értékkel rendelkezett mind a Lazítással, a Kultivátorozással, a Sekély kultivátorozással és a Direktvetéssel való összehasonlítása során. A Lazítás szintén jelentősen kisebb talajnedvességi értéket mutatott összevetve a Kultivátorozással, Sekély kultivátorozással és a Direktvetéssel. A Kultivátorozás nem különbözött szignifikánsan sem a Sekély kultivátorozástól, sem a Direktvetéstől, ahogyan a Sekély kultivátorozás sem a Direktvetéssel való összehasonlítása során. A legalacsonyabb minimum érték a Szántásban (21,450 m/m%), míg a legmagasabb minimum a Direktvetésben (30,200 m/m%) lett rögzítve. A legkisebb maximum a szintén a Szántásban (23,017 m/m%), a legnagyobb maximum pedig a Tárcsázásban (31,233 m/m%) volt megfigyelhető.

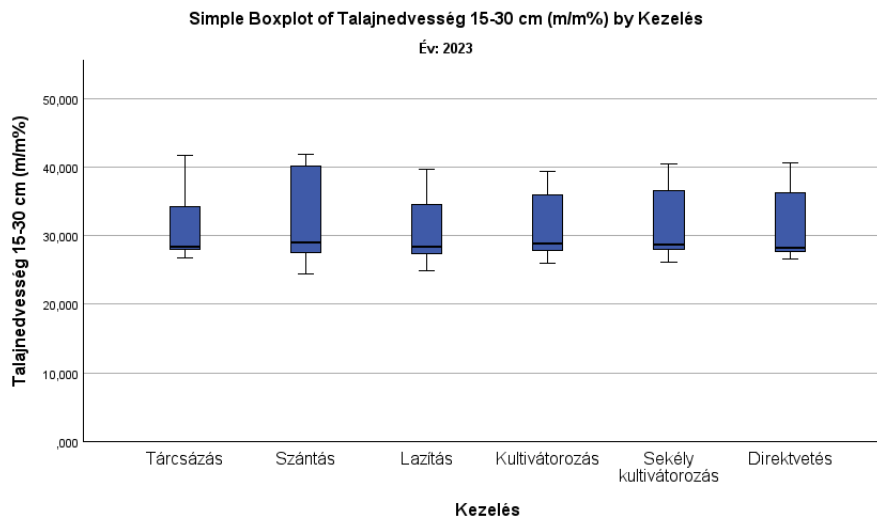
3. táblázat Post-hoc összehasonlítása a művelések közötti átlagos különbségeknek a talaj nedvességtartalmára gyakorolt hatásuk alapján 15-30 cm mélységben $p < 0,001$ szinten

(Forrás: Saját munka)

Talajnedvesség 15-30 cm, 2022	Tárcsázás	Szántás	Lazítás	Kultivátorozás	Sekély kultivátorozás	Direktvetés
Tárcsázás						
Szántás	8,294*					
Lazítás	3,738*	-4,556*				
Kultivátorozás	1,122	-7,172*	-2,617*			
Sekély kultivátorozás	1,278	-7,017*	-2,461*	0,156		
Direktvetés	0,239	-8,056*	-3,500*	-0,883	-1,039	

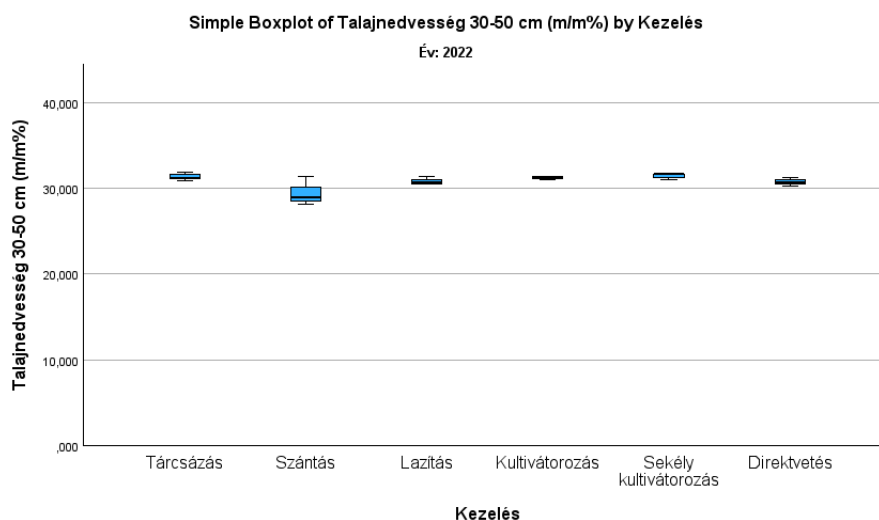
A 7. ábra mutatja talajnedvesség átlagos értékeinek alakulását a 15-30 cm rétegben 2023-ban. Az ANOVA vizsgálat alapján nem volt kimutatható szignifikáns eltérés a kezelések között a 2023-as talajnedvesség értékek vonatkozásában $F(5, 114) = 0,174$, $p = 0,972$. A Tárcsázással ($31,092 \pm 4,311$ m/m%) összehasonlított Szántás ($31,928 \pm 6,138$ m/m%), Lazítás ($30,599 \pm 4,634$ m/m%), Kultivátorozás ($31,608 \pm 4,708$ m/m%), Sekély kultivátorozás ($31,197 \pm 4,868$ m/m%) és Direktvetés ($31,215 \pm 5,154$ m/m%) nem tértek el egymástól szignifikánsan. A Szántásnál nem volt tapasztalható számottevő különbség a többi kezeléssel való összehasonlítás során. A Lazítással összevetett Kultivátorozás, Sekély kultivátorozás és Direktvetés között, továbbá a Kultivátorozással összehasonlított Sekély kultivátorozás és a Direktvetés között sem volt tapasztalható eltérés. A Sekély kultivátorozás a Direktvetéssel nem mutatott szignifikáns különbséget. A vizsgált rétegben a Szántás (24,367 m/m%) és a Lazítás (24,892 m/m%) rendelkezik a két legkisebb minimum értékkel, míg a Kultivátorozás (26,025 m/m%), a Sekély

kultivátorozás (26,117 m/m%) és a Direktvetés (26,567 m/m%) minimumai kevéssel maradnak el a Tárcsázás (26,800 m/m%) legmagasabb minimum értékétől. A két legalacsonyabb maximum értékkel a Kultivátorozás (39,317 m/m%) és a Lazítás (39,617 m/m%) rendelkezik, a két legmagasabbal pedig a Tárcsázás (41,767 m/m%) és a Szántás (41,817 m/m%), miközben a Sekély kultivátorozás (40,517 m/m%) és a Direktvetés (40,617 m/m%) maximumai közel azonosak.



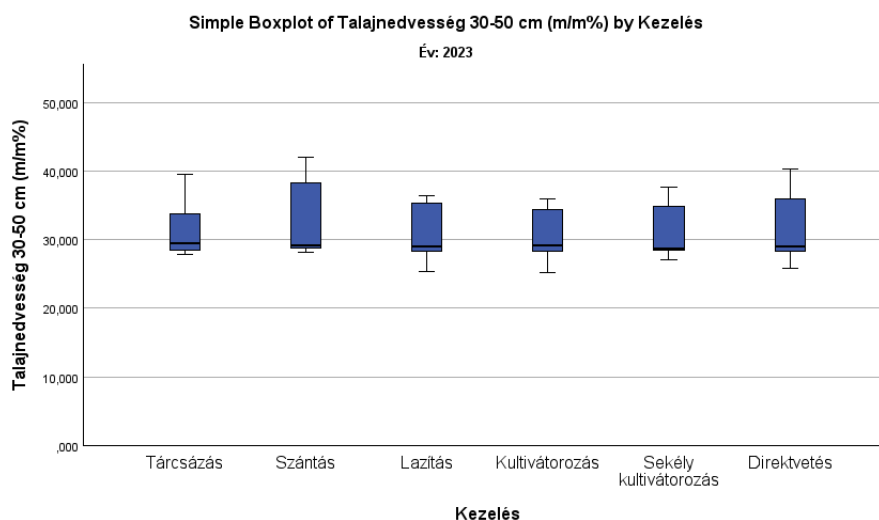
7. ábra A 2023. évi mérések talajnedvesség értékeinek kezelésenkénti összehasonlítása 15-30 cm mélységben (*Forrás: Saját munka*)

A 2022. őszi alapművelést követően mért talajnedvesség értékek a 30-50 cm-es rétegben (8. ábra) az ANOVA vizsgálata alapján nem mutattak szignifikáns eltérést az egyes kezelések között $F(5, 12) = 2,638$ $p = 0,078$. A Tárcsázással ($31,358 \pm 0,504$ m/m%) összehasonlított Szántás ($29,454 \pm 1,655$ m/m%), Lazítás ($30,841 \pm 0,505$ m/m%), Kultivátorozás ($31,258 \pm 0,199$ m/m%), Sekély kultivátorozás ($31,429 \pm 0,426$ m/m%) és Direktvetés ($30,712 \pm 0,500$ m/m%) nem különböztek egymástól szignifikánsan. A Szántásnál nem volt tapasztalható számottevő eltérés a többi kezeléssel való összehasonlítás során. A Lazítással összevetett Kultivátorozás, Sekély kultivátorozás és Direktvetés között, továbbá a Kultivátorozással összehasonlított Sekély kultivátorozás és a Direktvetés között sem volt tapasztalható jelentős különbség. A Sekély kultivátorozás a Direktvetéssel nem mutatott szignifikáns eltérést. A legkisebb minimum értékkel a Szántás (28,137 m/m%), a legnagyobb minimum értékkel pedig a Kultivátorozás (31,038 m/m%) rendelkezett. A legalacsonyabb maximum értéke a Direktvetésnek (31,200 m/m%), míg a legmagasabb maximum értéke a Tárcsázásnak (31,913 m/m%) volt.



8. ábra A 2022. őszi mérések talajnedvesség értékeinek kezelésenkénti összehasonlítása 30-50 cm mélységben (*Forrás: Saját munka*)

A 2023-as mérések átlagánál sem állt fent szignifikáns eltérés 30-50 cm-es mélységben a kezelések között az ANOVA vizsgálata alapján a réteg nedvességtartalmát illetően $F(5, 114) = 0,672$, $p = 0,645$. Nem tért el számottevően a Tárcsázás átlaga ($31,583 \pm 3,877$ m/m%) a Szántástól ($33,036 \pm 5,338$ m/m%), a Lazítástól ($31,247 \pm 3,814$ m/m%), a Kultivátorozástól ($31,023 \pm 3,495$ m/m%), a Sekély kultivátorozástól ($31,097 \pm 3,904$ m/m%) és a Direktvetéstől sem ($31,236 \pm 4,577$ m/m%). A Szántást összevetve a Lazítással, a Kultivátorozással, a Sekély kultivátorozással és a Direktvetéssel szintén nem figyelhető meg szignifikáns különbség. A Lazításnál sem volt tapasztalható szignifikáns eltérés a többi kezeléssel való összehasonlítás során. Továbbá a Kultivátorozás sem tér el számottevően a Sekély kultivátorozástól és a Direktvetéstől, ahogyan a Sekély kultivátorozástól a Direktvetés sem különbözik jelentősen. A 9. ábrán megfigyelhető, hogy a vizsgált rétegben a legkisebb minimum érték a Kultivátorozásban ($25,238$ m/m%) volt megfigyelhető, viszont ehhez közeli minimum eredményeket produkált a Lazítás ($25,362$ m/m%) és a Direktvetés ($25,875$ m/m%) is, míg a legmagasabb minimum érték a Szántásban ($28,163$ m/m%) került feljegyzésre, amihez nagyon közelít a Sekély kultivátorozás ($27,088$ m/m%) és a Tárcsázás ($27,800$ m/m%) értéke. A legkisebb maximum érték a Kultivátorozás ($36,000$ m/m%) parcellájában került rögzítésre, amely értékhez nagyon közeli a Lazítás ($36,463$ m/m%) és a Sekély kultivátorozás ($37,650$ m/m%) maximum értéke, miközben a legmagasabb maximum érték a Szántás ($41,988$ m/m%) esetében volt megfigyelhető, amelyet csak a Tárcsázás ($39,538$ m/m%) és a Direktvetés ($40,300$ m/m%) értéke közelít meg.

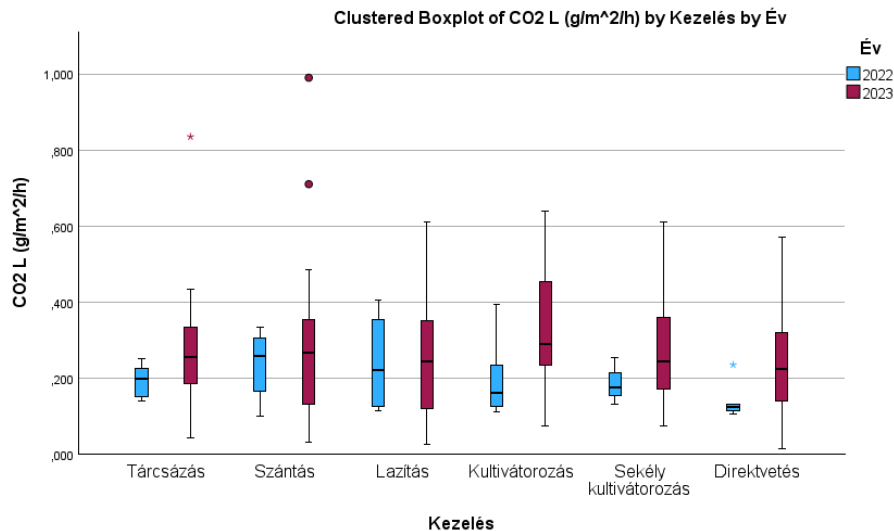


9. ábra A 2023. évi mérések talajnedvesség értékeinek kezelésenkénti összehasonlítása 30-50 cm mélységben (*Forrás: Saját munka*)

3.3. A CO₂-emisszió vizsgálatok eredményei

A 2022. őszi és a 2023. évi CO₂-emisszió vizsgálatok eredményeit a 10. és a 11. ábra szemlélteti.

A 2022-ben alapművelés előtt és után mért CO₂-kibocsátást kifejező L-értékek az ANOVA vizsgálata alapján nem volt statisztikailag igazolható különbség az egyes kezelések között $F(5, 30) = 1,250$ $p = 0,311$. A Tárcsázás ($0,193 \pm 0,043$ g/m²/h) nem mutatott számottevő eltérést a Szántással ($0,237 \pm 0,088$ g/m²/h), Lazítással ($0,240 \pm 0,122$ g/m²/h), Kultivátorozással ($0,198 \pm 0,106$ g/m²/h), Sekély kultivátorozással ($0,184 \pm 0,045$ g/m²/h) és a Direktvetéssel ($0,139 \pm 0,048$ g/m²/h) való összehasonlítása során. A Szántást a Lazításhoz, Kultivátorozáshoz, Sekély kultivátorozáshoz és a Direktvetéshez viszonyítva sem figyelhető meg jelentős különbség, ahogyan a Lazítást a Kultivátorozáshoz, Sekély kultivátorozáshoz és a Direktvetéshez hasonlítva sem. A Kultivátorozás nem különbözött szignifikánsan a Sekély kultivátorozástól és a Direktvetéstől sem, továbbá a Sekély kultivátorozással összehasonlított Direktvetés között sem volt tapasztalható számottevő eltérés. A 10. ábráról leolvasható, hogy a legkisebb minimum érték a Szántásban ($0,100$ g/m²/h), a legnagyobb minimum pedig a Tárcsázásban ($0,140$ g/m²/h) volt megfigyelhető. A legalacsonyabb maximum a Direktvetésben ($0,235$ g/m²/h), míg a legmagasabb maximum érték a Lazításban ($0,405$ g/m²/h) lett rögzítve.

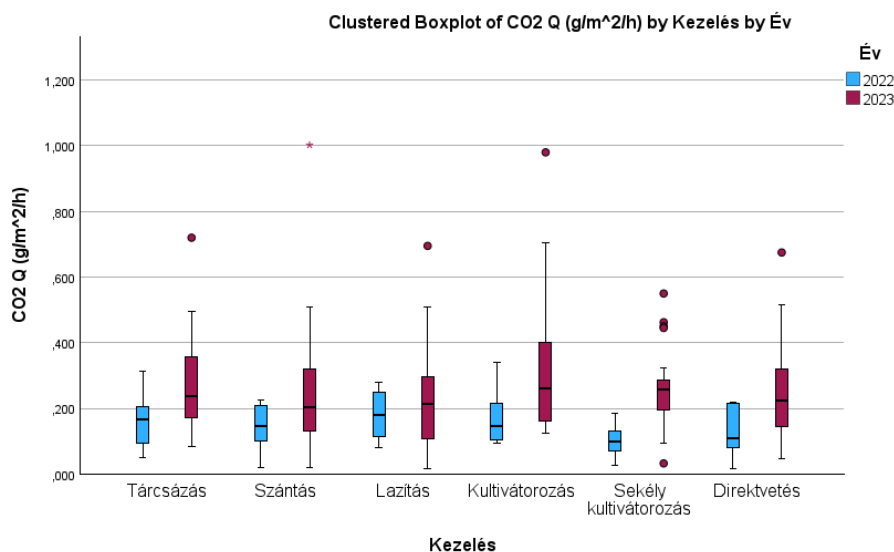


10. ábra A 2022. őszi és a 2023. évi mérések L-értékeinek kezelésenkénti összehasonlítása
(Forrás: Saját munka)

A CO₂-kibocsátást kifejező L-értékek 2023-ban az ANOVA vizsgálata alapján szintén nem mutattak szignifikáns eltérést az egyes kezelések között $F(5, 138) = 0,731$ $p = 0,602$. A Tárcsázással ($0,271 \pm 0,161$ g/m²/h) összehasonlított Szántás ($0,282 \pm 0,220$ g/m²/h), Lazítás ($0,253 \pm 0,167$ g/m²/h), Kultivátorozás ($0,328 \pm 0,155$ g/m²/h), Sekély kultivátorozás ($0,283 \pm 0,146$ g/m²/h) és Direktvetés ($0,246 \pm 0,135$ g/m²/h) nem tértek el egymástól szignifikánsan. A Szántásnál nem volt tapasztalható számottevő eltérés a többi kezeléssel való összehasonlítás során. A Lazítással összevetett Kultivátorozás, Sekély kultivátorozás és Direktvetés között, továbbá a Kultivátorozással összehasonlított Sekély kultivátorozás és a Direktvetés között sem volt tapasztalható eltérés. A Sekély kultivátorozás a Direktvetéssel szembeállítva nem mutatott szignifikáns különbséget. A 10. ábra szemlélteti, hogy a legalacsonyabb minimumérték a Direktvetéses ($0,015$ g/m²/h) parcellából származik, melyet a Lazítás ($0,025$ g/m²/h), a Szántás ($0,033$ g/m²/h) és a Tárcsázás ($0,043$ g/m²/h) követ a sorban. A Kultivátorozás ($0,075$ g/m²/h) és a Sekély kultivátorozás ($0,075$ g/m²/h) rendelkezik a legnagyobb minimum értékkel. A legkisebb maximum érték is a Direktvetés ($0,570$ g/m²/h) parcellájában lett megfigyelve, amelynél nagyobb maximális kibocsátást produkált a Lazítás ($0,610$ g/m²/h) és a Sekély kultivátorozás ($0,610$ g/m²/h) teljesen egyforma, a Kultivátorozás ($0,640$ g/m²/h) pedig az előbbi két kezeléshez hasonló értékkel. A legnagyobb maximum érték a Szántásban ($0,990$ g/m²/h) került feljegyzésre, a második legnagyobb pedig a Tárcsázásban ($0,835$ g/m²/h).

A CO₂-kibocsátást kifejező másik érték, a Q-értékek esetében az ANOVA vizsgálata alapján szintén nem volt kimutatható szignifikáns eltérés a kezelések között 2022-ben $F(5, 30) = 0,898$

$p = 0,495$. Nem mutat szignifikáns eltérést a Tárcsázás ($0,166 \pm 0,094 \text{ g/m}^2/\text{h}$) a Szántástól ($0,141 \pm 0,075 \text{ g/m}^2/\text{h}$), a Lazítástól ($0,181 \pm 0,076 \text{ g/m}^2/\text{h}$), a Kultivátorozástól ($0,175 \pm 0,094 \text{ g/m}^2/\text{h}$), a Sekély kultivátorozástól ($0,102 \pm 0,056 \text{ g/m}^2/\text{h}$) és a Direktvetéstől ($0,125 \pm 0,080 \text{ g/m}^2/\text{h}$) sem. A Szántással összevetett Lazítás, Kultivátorozás, Sekély kultivátorozás és Direktvetés között, továbbá a Lazítással összevetett Kultivátorozás, Sekély kultivátorozás és Direktvetés között nem volt megfigyelhető számottevő különbség. A Kultivátorozásnál sem volt tapasztalható jelentős különbség a többi kezeléssel való összevetés során. A Sekély kultivátorozás szintén nem tért el jelentősen a Direktvetéssel való összehasonlítása során. A legalacsonyabb minimum érték a Direktvetésben ($0,015 \text{ g/m}^2/\text{h}$), a legmagasabb minimum pedig a Kultivátorozásban ($0,095 \text{ g/m}^2/\text{h}$) volt megfigyelhető (11. ábra). Érdekes továbbá, hogy a legalacsonyabb és a legmagasabb minimum értéket produkáló kezelések, azaz a Direktvetés ($0,340 \text{ g/m}^2/\text{h}$) és a Kultivátorozás ($0,340 \text{ g/m}^2/\text{h}$) egyforma értékkel tudhatja magáénak a legmagasabb maximumot, míg a legalacsonyabb maximum érték a Sekély kultivátorozásban ($0,185 \text{ g/m}^2/\text{h}$) került rögzítésre.



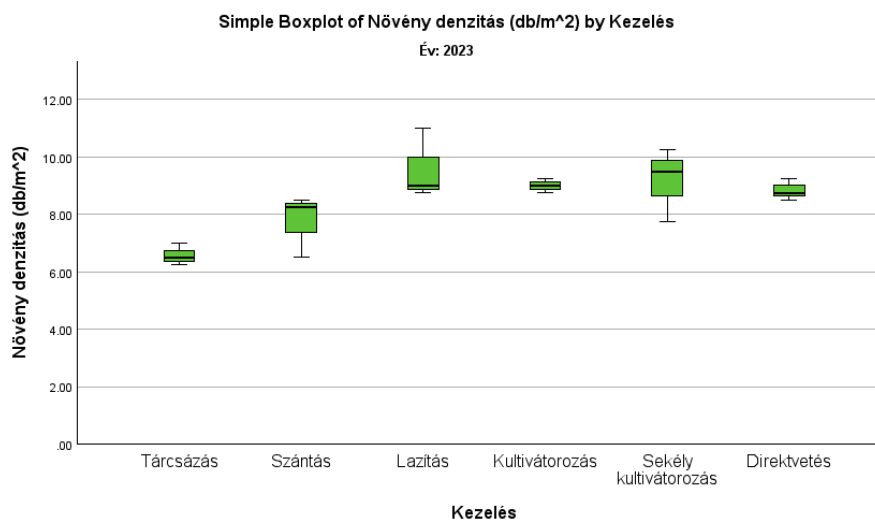
11. ábra A 2022. őszi és a 2023. évi mérések Q-értékeinek kezelésenkénti összehasonlítása
(Forrás: Saját munka)

A Q-értékek esetében az ANOVA vizsgálata alapján 2023-ban sem volt kimutatható szignifikáns eltérés a kezelések között $F(5, 138) = 1,053$ $p = 0,389$. A Tárcsázást ($0,273 \pm 0,143 \text{ g/m}^2/\text{h}$) összehasonlítva Szántással ($0,248 \pm 0,209 \text{ g/m}^2/\text{h}$), Lazítással ($0,217 \pm 0,158 \text{ g/m}^2/\text{h}$), Kultivátorozással ($0,325 \pm 0,219 \text{ g/m}^2/\text{h}$), Sekély kultivátorozással ($0,264 \pm 0,118 \text{ g/m}^2/\text{h}$) és Direktvetéssel ($0,255 \pm 0,152 \text{ g/m}^2/\text{h}$), nem volt szignifikáns eltérés tapasztalható. A Szántást összevetve a Lazítással, a Kultivátorozással, a Sekély kultivátorozással és a Direktvetéssel

szintén nem figyelhető meg számottevő különbség. A Lazításnál sem volt tapasztalható szignifikáns eltérés a többi kezeléssel való összehasonlítás során. Továbbá a Kultivátorozás sem tér el jelentősen a Sekély kultivátorozástól és a Direktvetéstől, ahogyan a Sekély kultivátorozástól a Direktvetés sem különbözik számottevően. A 11. ábra alapján a legkisebb minimum értékkel a Lazítás (0,015 g/m²/h) rendelkezik, melyet a Szántás (0,020 g/m²/h) és a Sekély kultivátor (0,033 g/m²/h) követ, tőlük csak kevéssel tér el a Direktvetés (0,048 g/m²/h). A legnagyobb minimum érték a Kultivátorozásnál (0,125 g/m²/h) volt megfigyelhető, a második legnagyobb pedig a Tárcsázás (0,085 g/m²/h) értéke volt. A legalacsonyabb maximum értéket a Sekély kultivátorozás (0,550 g/m²/h) produkálta, melyet a Direktvetés (0,675 g/m²/h), a Lazítás (0,695 g/m²/h) és a Tárcsázás (0,720 g/m²/h) követ a sorban. A legmagasabb maximum értékkel a második legkisebb minimummal is bíró Szántás (1,003 g/m²/h) rendelkezik, a második legnagyobb maximuma pedig a Kultivátorozásnak (0,980 g/m²/h) volt.

3.4. A termésbecslés eredményei

A termésbecslés során végzett felmérések eredményeit a 12 – 14. ábrák mutatják be. A Növénydenzitás eredmények (12. ábra) szignifikánsan eltértek az egyes kezelések között az ANOVA vizsgálata alapján $F(5, 114) = 47,063$ $p < 0,001$.



12. ábra Az egy m²-en megtalálható növényszám kezelésenkénti összehasonlítása

(Forrás: Saját munka)

A 4. táblázat a Tukey HSD post-hoc vizsgálat eredményeit szemlélteti, amely szerint szignifikánsabb több növény volt megfigyelhető mind a Szántásban ($7,750 \pm 0,911$ db/m²), Lazításban ($9,583 \pm 1,031$ db/m²), Kultivátorozásban ($9,000 \pm 0,209$ db/m²), Sekély kultivátorozásban ($9,167 \pm 1,078$ db/m²) és a Direktvetésben ($8,833 \pm 0,321$ db/m²), mint a Tárcsázásban ($6,583 \pm 0,319$ db/m²). A Szántás is szignifikánsan kevesebb növényvel

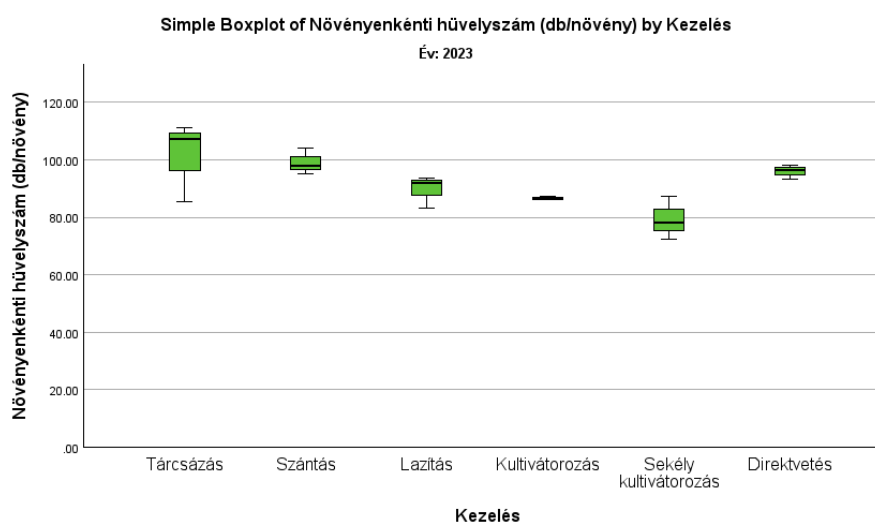
rendelkezett, mint a Lazítás, Kultivátorozás, Sekély kultivátorozás és a Direktvetés. Habár a Lazítással művelt parcellák átlagában több növény volt megfigyelhető, mint a Kultivátorozás, Sekély kultivátorozás és a Direktvetés parcellák átlagaiban, csak az utóbbtól való pozitív eltérése tekinthető szignifikánsnak. A Kultivátorozásban kevesebb növény került rögzítésre, mint a Sekély kultivátorozásban, valamint több, mint a Direktvetésben, de egyik különbség sem számottevő. Ugyanígy a Sekély kultivátorozás sem tartalmazott szignifikánsan több növényt a Direktvetésnél. A legkisebb minimum értékkel a Tárcsázás ($6,25 \text{ db/m}^2$), míg a legnagyobb a Lazítás ($8,75 \text{ db/m}^2$) és a Kultivátorozás ($8,75 \text{ db/m}^2$) rendelkezik. A legalacsonyabb maximum érték a szintén a Tárcsázásnál ($7,00 \text{ db/m}^2$), miközben a legmagasabb maximum pedig a Lazításban ($11,00 \text{ db/m}^2$) lett felmérve.

4. táblázat Post-hoc összehasonlítása a művelések közötti átlagos különbségeknek az 1 m^2 -en előforduló növény szám változásra gyakorolt hatásuk alapján $p < 0,001$ szinten

(Forrás: Saját munka)

Növény denzitás	Tárcsázás	Szántás	Lazítás	Kultivátorozás	Sekély kultivátorozás	Direktvetés
Tárcsázás						
Szántás	-1,167*					
Lazítás	-3,000*	-1,833*				
Kultivátorozás	-2,417*	-1,250*	0,583			
Sekély kultivátorozás	-2,583*	-1,417*	0,417	-0,167		
Direktvetés	-2,250*	-1,083*	0,750*	0,167	0,333	

A Növényenkénti hüvelyszám eredmények (13. ábra) szintén szignifikánsan eltértek az egyes kezelések között az ANOVA vizsgálata alapján $F(5, 114) = 36,284$ $p < 0,001$.



13. ábra Az egy növényen lévő hüvelyszám kezelésenkénti összehasonlítása

(Forrás: Saját munka)

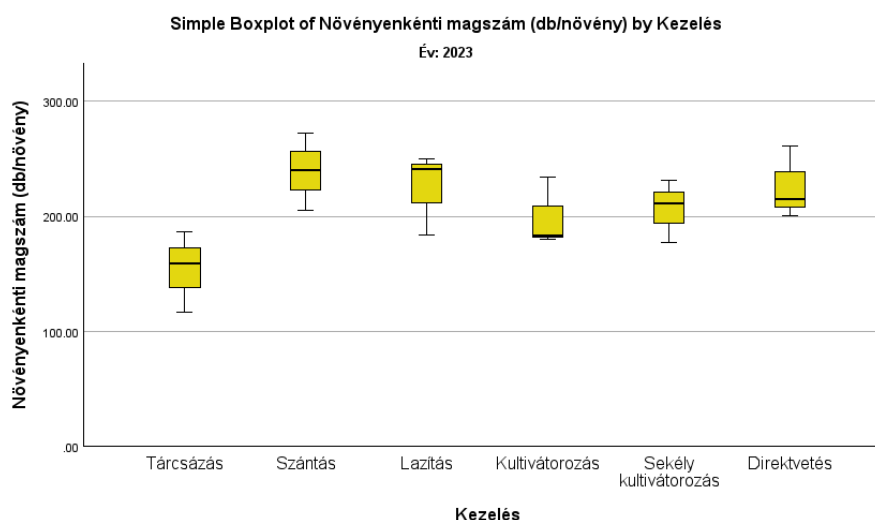
Az 5. táblázat szemlélteti a Tukey HSD post-hoc vizsgálat eredményeit, amely alapján megállapítható, hogy a Tárcsázásban ($101,187 \pm 11,646$ db/növény) a növények, bár nem számottevően, de több hüvelyt tartalmaztak, mint a Szántásban ($98,952 \pm 3,815$ db/növény) és a Direktvetésben ($95,938 \pm 2,119$ db/növény), viszont szignifikánsan több hüvely volt megtalálható a Tárcsázás növényein, mint a Lazítás ($89,615 \pm 4,604$ db/növény), a Kultivátorozás ($86,576 \pm 0,603$ db/növény) és a Sekély kultivátorozás ($79,384 \pm 6,313$ db/növény) növényein. A Szántás esetében szintén szignifikánsan több volt a növényenkénti hüvelyszám a Lazításhoz, a Kultivátorozáshoz és a Sekély kultivátorhoz képest, a Direktvetéssel való összehasonlításban azonban már nem nevezhető számottevőnek a Szántás előnye. A Lazítás szignifikánsan több növényenkénti hüvelyt produkált, mint a Sekély kultivátorozás, ellenben szignifikánsan kevesebbet, mint a Direktvetés, míg a Kultivátorral való különbsége nem számottevő. A Kultivátorozásban szignifikánsan magasabb érték figyelhető meg a Sekély kultivátorhoz hasonlítva, azonban a Direktvetéshez képest szignifikánsan alacsonyabb az eredménye. A Sekély kultivátorban található növények hüvelyszáma pedig számottevően alacsonyabb, mint a Direktvetésben találhatóké. A legkisebb minimum érték a Sekély kultivátorozásban ($72,57$ db/növény), míg a legnagyobb minimum pedig a Szántásban ($94,98$ db/növény) került regisztrálásra. A legalacsonyabb maximum érték a Kultivátorozásban ($87,38$ db/növény), a legmagasabb pedig a Tárcsázásban ($111,00$ db/növény) volt megfigyelhető.

5. táblázat Post-hoc összehasonlítása a művelések közötti átlagos különbségeknek az egy növényen megtalálható hüvelyek számára gyakorolt hatásuk alapján $p < 0,001$ szinten

(Forrás: Saját munka)

Növényenkénti hüvelyszám	Tárcsázás	Szántás	Lazítás	Kultivátorozás	Sekély kultivátorozás	Direktvetés
Tárcsázás						
Szántás	2,235					
Lazítás	11,572*	9,337*				
Kultivátorozás	14,611*	12,375*	3,039			
Sekély kultivátorozás	21,803*	19,567*	10,230*	7,191*		
Direktvetés	5,249	3,013	-6,323*	-9,362*	-16,554*	

A Növényenkénti magszám eredmények (14. ábra) ANOVA vizsgálata alapján szignifikáns eltérést mutattak az egyes kezelések között $F(5, 114) = 25,478$ $p < 0,001$.



14. ábra Az egy növényen megtalálható magszám kezelésenkénti összehasonlítása
(Forrás: Saját munka)

A 6. táblázat a Tukey HSD post-hoc vizsgálat eredményeit szemlélteti, melynek alapján kijelenthető, hogy a Tárcsázásban ($154,167 \pm 29,202$ db/növény) mind a Szántásnál ($239,500 \pm 28,246$ db/növény), Lazításnál ($224,750 \pm 30,138$ db/növény), Kultivátorozásnál ($198,916 \pm 25,281$ db/növény), Sekély kultivátorozásnál ($206,667 \pm 22,902$ db/növény) és a Direktvetésnél ($225,750 \pm 26,740$ db/növény) is szignifikánsan kevesebb mag volt megtalálható növényenként. A Szántásban szignifikánsan magasabb növényenkénti magszám került rögzítésre a Kultivátorozáshoz és a Sekély kultivátorozáshoz viszonyítva, továbbá a Lazításhoz és a Direktvetéshez képest is magasabb értékek lettek feljegyezve, azonban ezek eltérése nem számottevő. A Lazítás a Kultivátorozáshoz képest szignifikánsan magasabb eredményt produkált e tekintetben, azonban a Sekély kultivátorozáshoz való pozitív és Direktvetéshez való negatív irányú eltérése nem volt számottevő. Habár a Kultivátorozás a Sekély kultivátorozásnál is alacsonyabb értéket adott, a negatív irányú eltérés csak a Direktvetéshez való hasonlítása esetén nevezhető szignifikánsnak. A Sekély kultivátorozás Direktvetéssel való összevetése során kapott alacsonyabb érték sem tekinthető számottevőnek. A legkisebb minimum érték a Tárcsázásban (117 db/növény), míg a legnagyobb a Szántásban (205,25 db/növény) került rögzítésre. A legalacsonyabb maximum érték is a Tárcsázásban (186,25 db/növény), a legmagasabb maximum érték pedig a Szántásban (272,75 db/növény) lett felmérve.

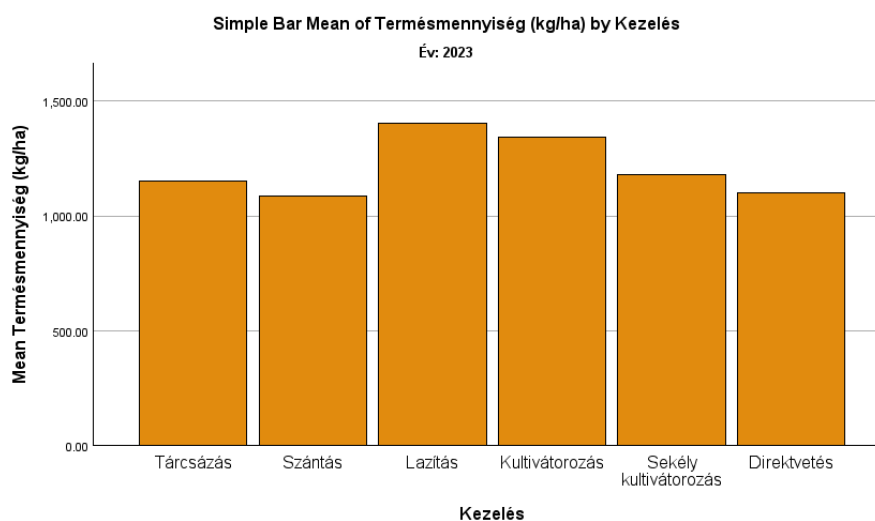
6. táblázat Post-hoc összehasonlítása a művelések közötti átlagos különbségeknek az egy növényen megtalálható magok számára gyakorolt hatásuk alapján $p < 0,001$ szinten

(Forrás: Saját munka)

Növényenkénti magszám	Tárcsázás	Szántás	Lazítás	Kultivátorozás	Sekély kultivátorozás	Direktvetés
Tárcsázás						
Szántás	-85,333*					
Lazítás	-70,583*	14,750				
Kultivátorozás	-44,750*	40,583*	25,833*			
Sekély kultivátorozás	-52,500*	32,833*	18,083	-7,750		
Direktvetés	-71,583*	13,750	-1,000	-26,833*	-19,083	

3.5. A termés alakulása

A 15. ábra mutatja a szója kezelésenkénti átlaghozamának alakulását, amely eredmények szintén statisztikailag igazolható különbséget mutattak az egyes kezelések között az ANOVA vizsgálata alapján $F(5, 114) = 1,728E+31$ $p < 0,001$.



15. ábra A szója termésmennyiségének kezelésenkénti összehasonlítása

(Forrás: Saját munka)

A 7. táblázat szemlélteti a Tukey HSD post-hoc vizsgálat eredményeit, amely szerint a Tárcsázásban (1151,76 kg) a Szántásnál (1088,140 kg) és a Direktvetésnél (1102,280 kg) szignifikánsan magasabb, miközben a Lazításnál (1402,030 kg), Kultivátorozásnál (1342,220 kg) és Sekély kultivátorozásnál (1179,330 kg) szignifikánsan alacsonyabb volt az átlagtermés. A Szántásban számottevően alacsonyabb volt az átlagtermés mind a Lazításhoz, Kultivátorozáshoz, Sekély kultivátorozáshoz és a Direktvetéshez képest is. A Lazításban

viszont szignifikánsan magasabb volt az eredmény a Kultivátorozáshoz, a Sekély kultivátorozáshoz és a Direktvetéshez való hasonlításban. A Kultivátorozásban szintén szignifikánsan magasabb termésátlag született, mint a Sekély kultivátorozásban, illetve a Direktvetésben. A Sekély kultivátorozás Direktvetéssel szemben mutatott átlagtermésben megnyilvánuló pozitív irányú különbsége is szignifikánsnak tekinthető a vizsgálat szerint. Mindezek fényében a legkisebb termésátlag tehát a Szántásban, a legmagasabb termésátlag pedig a Lazításban volt megfigyelhető.

7. táblázat Post-hoc összehasonlítása a művelések közötti átlagos különbségeknek a termésmennyiségre gyakorolt hatásuk alapján $p < 0,001$ szinten

(Forrás: Saját munka)

Termés- mennyiség	Tárcsázás	Szántás	Lazítás	Kultivátorozás	Sekély kultivátorozás	Direktvetés
Tárcsázás						
Szántás	63,620*					
Lazítás	-250,270*	-313,890*				
Kultivátorozás	-190,460*	-254,080*	59,810*			
Sekély kultivátorozás	-27,570*	-91,190*	222,700*	162,890*		
Direktvetés	49,480*	-14,140*	299,750*	239,940*	77,050*	

4. Következtetések és javaslatok

A talajnedvesség vizsgálataim eredménye alapján megállapítható, hogy az egyes talajművelési eljárások között megfelelő csapadékellátottság esetén nem mutatkozik jelentős különbség a talaj nedvességtartalmát illetően a teljes tenyészidőt tekintve, így a szója számára szükséges vízmennyiség minden kezelésben egyaránt rendelkezésre állt. Mindez azt jelenti, hogy a 2023-ban megfigyelt, a megszokottnál csapadékosabb tenyészidőben az eltérő alpművelési módok által befolyásolt talajnedvesség nem volt nagy hatással a szója termésmennyiségére. Ezen következtetést Birkás (2001) is alátámasztja, aki szerint egy csapadékos évben a mély és sekélyművelés termésre gyakorolt hatása megegyezhet. A nedvességkímélő művelés fontosságára hívja fel viszont a figyelmet a 2022. őszén, az alpművelést követően mért nedvességértékek között kimutatható szignifikáns különbség. A kutatás során sikerült bebizonyítani, hogy a 0-15 cm-es rétegben a Direktvetés 34,84%-kal, a Tárcsázás pedig 42,05%-kal növelte a talajnedvesség értékének átlagát a Szántáshoz képest, amiről Birkás és Gyuricza (2004) is beszámolt. Az eredmények alátámasztják továbbá Gyuricza (2001b) megállapítását, hogy nemcsak a művelési mélység, hanem a talajfelszín szármadarvánnyal való borítottsága is kardinális a nedvességmegőrzésben, mert a kétféle Kultivátorozásban és a Lazításban is magasabb nedvességtartalmat tapasztaltam a Szántáshoz képest. Megjegyzendő, hogy a talaj mélyebb, 30 cm-t meghaladó rétegeiben az egyes művelések között megfigyelt különbségek fokozatosan kiegyenlítődtek, melynek valószínűsíthető oka, hogy kezeléseknek nincs már tartós hatása ebben a mélységben. Mindezek alapján kijelenthető, hogy a talaj nedvességmegőrzését leginkább elősegítő művelési eljárások minimális vagy semmilyen bolygatással nem járnak és bizonyos mértékű felszínborítottsággal rendelkeznek, míg e szempontból a legkevésbé alkalmas egyértelműen a Szántás.

Habár a CO₂-kibocsátás vizsgálatának eredményei egyszer sem mutattak szignifikáns különbséget az egyes művelési eljárások között, az eredmények alapján határozottan kijelenthető, hogy a bolygatás mértékével nő a talajlégzés intenzitása, amelyről Zhang és munkatársai (2021) kutatása is beszámol. Érdekes viszont, hogy míg a 2022. őszi eredmények a várakozásoknak megfelelően alakultak, vagyis a két legmélyebb művelési eljárás – a Szántás és a Lazítás – közel azonos átlagos lineáris légzésintenzitása 72,66%-kal nagyobb volt, mint a legalacsonyabb értéket adó Direktvetésé, addig 2023-ban a Kultivátoros művelések lineáris légzésintenzitásának trendszerű emelkedése volt megfigyelhető. Ekkor a Sekélykultivátoros művelés a Szántással közel megegyező értéket adott, ami 15%-kal volt több a Direktvetés

legkisebb értékénél, viszont a Kultivátorozás értéke 33,3%-kal haladta meg a Direktvetését. Mindez arra enged következtetni, hogy a Kultivátorozás a túlzott levegőzöttsége révén kedvező hatást fejt ki a talajbiótára, ezáltal fokozódik a talaj biológiai aktivitása, ami a talaj szerves szénkészletének kímélése szempontjából hátrányos lehet. Birkás (2011) is kikötötte, hogy a lazító és morzsalékképző talajművelés, mint a Kultivátorozás is csak megfelelő tömörítéssel párosulva előnyösebb biológiai szempontból. Mivel nem tapasztalható szignifikáns eltérés a művelések között, ebből az a következtetés vonható le, hogy a talaj CO₂-kibocsátása nem gyakorolt jelentős hatást a szója termésmennyiségre.

A termésbecslés eredményeit látva szembeűnő, hogy a Tárcsázásban egy m²-en 31,3%-kal kevesebb növény volt, mint a legnagyobb átlagos denzitással rendelkező Lazításban. A Szántásban szintén kevesebb növény volt megfigyelhető az egyébként hasonló átlagértékekkel rendelkező forgatás nélküli művelések és a Direktvetés eredményéhez képest, azonban a Szántás denzitása csak 12,23%-kal volt kevesebb a Direktvetéshez hasonlítva. Meglátásom szerint a csökkent denzitás értékek a gyengébb kelés eredménye, aminek oka, hogy a nedvességforgalmat gátló tömör réteget kialakító művelésekben a talaj tavaszi nedvességkészlete alacsonyabb, melyet Ruzsányi és Lesznyák (2002) is említ.

A növényenkénti hüvelyszám tekintetében viszont fordított a helyzet, ugyanis a Tárcsázásban volt megtalálható a legtöbb hüvely növényenként, 12,91%-kal több, mint a Lazításban, továbbá a Szántásban is 3,14%-kal több hüvely volt átlagosan növényenként, mint a Direktvetésben. A forgatás nélküli kímélő művelések itt is hasonló trendet mutattak, akár a denzitásnál. Annak, hogy a Tárcsázásban több volt a hüvely, mint a nagyobb denzitással rendelkező kezelésekben, valószínűleg az lehet az oka, hogy a kisebb denzitás miatt a növények számára nagyobb tér állt rendelkezésére, így több oldalhajtást tudtak fejleszteni több a hüvellyel, amit Kurnik (1987) is alá tud támasztani. Azonban ez véleményem szerint nem elegendő ahhoz, hogy növényenkénti hüvelyszám szempontjából a Tárcsázás legyen a lemegfelelőbb művelési mód.

A legkevesebb növényenkénti átlagos magszámot is a Tárcsázás produkálta, a legmagasabbat pedig a Szántás, de csupán 6%-kal többet, mint a Direktvetés. A Lazítás és a Direktvetés közel azonos átlagértéket adtak, viszont a Kultivátorozás 11,89%-kal, a Sekély kultivátorozás pedig 8,46%-kal kevesebb volt, mint a Lazítás. A Tárcsázásban a felszínközeli tárcsatalp miatt gátolt volt a gyökérnövekedés (**M9. kép**), az eredmények pedig jól tükrözik a talaj lazultréteg mélységének és a gyökér fejlettségének kapcsolatát, ami a hüvely- és magtelítődési időszakban a hozzáférhető nedvesség és tápanyag ellátottságot illetően döntő

hatással van a termés mennyiségére. Mindez összhangban van Singh és munkatársai (2014), valamint Battisti és Sentelhas (2017) megállapításaival.

A legmagasabb termésátlagot a Lazítás eredményezte, amit a Kultivátorozás követett. A Sekély kultivátorozás és a Tárcsázás hasonló átlagtermést adott. A Szántás hozama volt a legalacsonyabb hektáronként, viszont a Direktvetés átlagtermése csupán 1,3%-kal haladta meg, amivel nem sikerült alátámasztani Silva et al. (2022) megfigyeléseit. Véleményem szerint a termés végső eredménye is a talaj tömörödöttségével és annak gyökérfejlődésre gyakorolt hatásával állhat összefüggésben, hiszen a hüvelyfejlődés és magtelítődés határán lévő szóját 2023. augusztus első hetében hatalmas mennyiségű csapadék érte. Ekkor, amennyiben a talaj tömör réteget tartalmaz, a gátolt mélybeszivárgás miatt a nagy mennyiségű csapadék hatására pangóvíz alakulhatott ki, amely csökkentette a fotoszintézist, ezáltal kevesebb asszimilátum jutott a magokba, ami végül alacsonyabb termést eredményezett, amit Bacanamwo (1999), illetve Sullivan és munkatársai (2001) is alátámasztanak.

Összegezve a megállapításokat, a hatvani mészlepedékes csernozjom talajon végzett kutatásom eredményei alapján a mélyebb forgatás nélküli alapműveléseket, azon belül is kiváltképp a Lazítást jelölném meg, mint a szója számára legmegfelelőbb művelési módot a szóban forgó termőhelyen, hiszen szinte minden vizsgált paraméter esetében kedvező trendszerű eredményeket mutatott. Jónak ítélem továbbá a Kultivátorozást is, bár a többi kezelésnél magasabbak voltak a talajlégzés intenzitás eredményei, ennek ellenére számos kedvező hatásról tett tanúbizonyságot. A kutatás eredményei alapján megállapítható továbbá, hogy bár a Szántás a legkevésbé megfelelő művelési mód a szója számára, mindezek ellenére továbbra is ez a legelterjedtebb, ami remélhetőleg változni fog a jövőben. A Direktvetés kedvező hatást főleg a talaj védelme szempontjából fejt ki, de a vizsgált körülmények között a szójatermesztés szempontjából nem a legmegfelelőbb talajművelési módszer a túlzott ülepedettség révén kialakult gyenge vízbefogadóképesség miatt, emiatt annak alkalmazását nem javaslom a szója mészlepedékes csernozjom talajon való termesztésére, ahogyan a Tárcsázással való alapművelést sem ajánlom.

Fontos azonban leszögezni, hogy egy tenyésztői tapasztalataiból jól megalapozott következtetést nehéz és nem is célszerű levonni, emiatt a téma további kutatások folytatását igényli annak érdekében, hogy valós képet kapjunk arról, melyik alapművelési mód is a legjobb a szója számára mészlepedékes csernozjom talajon.

5. Összefoglalás

A klímaváltozás következtében emelkedő átlaghőmérséklet és a csökkenő csapadékmennyiség szélsőséges idő- és térbeli eloszlása a Kárpát-medencében kedvezőtlen hatást gyakorol a szántóföldi növénytermesztés keretében a talajra és a növényállományra egyaránt. A szója (*Glycine max* L.) az egyik legfontosabb termesztett növényünk, azonban az éghajlatváltozás hátrányosan befolyásolja a termesztetőségét hazánkban, amihez az alkalmazott agrotechnikának alkalmazkodnia szükséges a sikeres termesztés érdekében. A különböző talajművelési módok különbözően hatnak a talaj vízgazdálkodására és a talajlégzés intenzitására, melyek vizsgálata kulcsfontosságú az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodás szempontjából. Ezek apropóján kutatásom céljaul tűztem ki, hogy hat különböző alapművelési eljárást összehasonlítva összefüggéseket keressek a talajban művelés hatására bekövetkező szén-dioxid kibocsátás- és nedvességtartalom változás, illetve a szója termésmennyisége között, meghatározva ezáltal a szója számára legkedvezőbb talajművelési módot vagy módokat.

Kutatásom Heves vármegyében, Hatvanban, a MATE Tangazdaság Nonprofit Kft. Józsefmajori Kísérleti- és Tangazdaságban beállított talajművelési tartamkísérletében végeztem mészlepedékes csernozjom talajon a 2022-2023-as években. Az 5,772 hektáros területű táblán négy ismétlésben, sávos véletlenszerű elrendezésben hat különböző talajművelési kezelés került beállításra, amelyek a Tárcsázás, Szántás hengerrel elmunkálva, Lazítás, Kultivátoros művelés, Sekély kultivátoros művelés és a Direktvetés.

A különböző művelések összehasonlításához 10 hónapon át havi rendszerességgel végeztem méréseket, mely során a talajfelszíntől indulva 5 cm-es léptékben 50 cm mélységig történt a pontszerű nedvességmérés, illetve infravörös-gázanalizátorral mértem a talaj által kibocsátott CO₂-koncentráció változását. A betakarítás előtt termésbecslése is sor került, amikor felvételezésre került az egy m²-en található növényszám, valamint a növényenkénti hüvely- és magszám is. A vizsgált paraméterek eredményeit statisztikai módszerekkel való feldolgozást követően elemeztem.

Kutatásom eredményei alapján arra a megállapításra jutottam, hogy az egyes talajművelési módok között olykor jelentős különbségek mutatkoznak, mind a talaj nedvességtartalmának, illetve szén-dioxid kibocsátásának változásában, melyek még egy az átlagosnál csapadékosabb évben is befolyásolhatják kis mértékben a szója termését meghatározó paramétereket. Az eredményeket összevetve, a Lazítást találtam a legkedvezőbb alapművelési módnak a szója számára mészlepedékes csernozjomon, a legkedvezőtlenebbnek pedig a Szántást. Nem javaslom továbbá a Tárcsázás és a szakirodalom által javasolt Direktvetés alkalmazását sem.

Irodalomjegyzék

1. Acharya, B. S. – Dodla, S. – Gaston, L. A. – Darapuneni, M. – Wang, J. J. – Sepat, S. – Bohara, H. (2019): Winter cover crops effect on soil moisture and soybean growth and yield under different tillage systems. *Soil and Tillage Research*, 195(1). Paper 104430, 9 p. DOI: [10.1016/j.still.2019.104430](https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104430)
2. Ainsworth, E. A. – Long, S. P. (2021): 30 years of free-air carbon dioxide enrichment (FACE): What have we learned about future crop productivity and its potential for adaptation? *Global Change Biology*, 27(1), 27-49. DOI: [10.1111/gcb.15375](https://doi.org/10.1111/gcb.15375)
3. Anda A. – Soós G. – Menyhárt L. – Kucserka T. – Simon B. (2020): Yield features of two soybean varieties under different water supplies and field conditions. *Field Crops Research*, 245(1), Paper 107673, 9 p. DOI: [10.1016/j.fcr.2019.107673](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107673)
4. Anderson, E. J. – Ali, M. L. – Beavis, W. D. – Chen, P. – Clemente, T. E. – Diers, B. W. – Graef, G. L. – Grassini, P. – Hyten, D. L. – McHale, L. K. – Nelson, R. L. – Parrott, W. A. – Patil, G. B. – Stupar, R. M. – Tilmon, K. J. (2019): Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] breeding: History, improvement, production and future opportunities. In: Al-Khayri, J. – Jain, S. – Johnson, D. (szerk.): *Advances in Plant Breeding Strategies: Legumes*. Springer International Publishing, pp. 431–516. DOI: [10.1007/978-3-030-23400-3_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-23400-3_12)
5. Araki, H. (2006): Water uptake of soybean (*Glycine max* L. Merr.) during exposure to O₂ deficiency and field level CO₂ concentration in the root zone. *Field Crops Research*, 96(1), 98–105. DOI: [10.1016/j.fcr.2005.05.007](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.05.007)
6. Bacanamwo, M. (1999): Soybean dry matter and N accumulation responses to flooding stress, N sources and hypoxia. *Journal of Experimental Botany*, 50(334), 689–696. DOI: [10.1093/jexbot/50.334.689](https://doi.org/10.1093/jexbot/50.334.689)
7. Bahn, M. – Schmitt, M. – Siegwolf, R. – Richter, A. – Brüggemann, N. (2009): Does photosynthesis affect grassland soil-respired CO₂ and its carbon isotope composition on a diurnal timescale? *New Phytologist*, 182(2), 451–460. DOI: [10.1111/j.1469-8137.2008.02755.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02755.x)
8. Balikó S. (szerk.)(2015): *Szójatermesztés korszerűen*. Szeged: S-Press 5 Kft.
9. Balikó S., Bódis L., Kralovánszky U. P. (2005): *A szója termesztése*. Budapest: Mezőgazda Kiadó.
10. Basal, O. (2017): The effects of drought stress on soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) growth, physiology and quality – Review. *Acta Agraria Debreceniensis*, 72(1), 19–24. DOI: [10.34101/actaagrar/72/1576](https://doi.org/10.34101/actaagrar/72/1576)

11. Basal, O. – Szabó, A. (2019): Does drought stress always negatively affect the yield and quality of soybean in Hungary? *Acta Agraria Debreceniensis*, 2(1), 37–40. DOI: [10.34101/actaagrar/2/3676](https://doi.org/10.34101/actaagrar/2/3676)
12. Battisti, R. – Sentelhas, P. C. (2017): Improvement of soybean resilience to drought through deep root system in Brazil. *Agronomy Journal*, 109(4), 1612–1622. DOI: [10.2134/agronj2017.01.0023](https://doi.org/10.2134/agronj2017.01.0023)
13. Benjamin, J. G. – Nielsen, D. C. (2006): Water deficit effects on root distribution of soybean, field pea and chickpea. *Field Crops Research*, 97(2–3), 248–253. DOI: [10.1016/j.fcr.2005.10.005](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.10.005)
14. Birkás M. (2001): Talajművelés és talajvédelem. In: Gyuricza Cs. (szerk.): *A szántóföldi talajhasználat alapjai*. Gödöllő: SZIE MKK NTTI Földműveléstani Tanszék, pp. 33–87.
15. Birkás M. (2011): Tillage, impacts on soil and environment. In: Gliński, J. – Horabik, J. – Lipiec, J. (szerk.): *Encyclopedia of Agrophysics*. Dordrecht: Springer Netherlands. pp. 903–906. DOI: [10.1007/978-90-481-3585-1_266](https://doi.org/10.1007/978-90-481-3585-1_266)
16. Birkás M., Gyuricza Cs. (2004): A talajhasználat és a klimatikus hatások kapcsolata. In: Birkás M. – Gyuricza Cs. (szerk.): *Talajhasználat - Műveléshatás - Talajnedvesség*. Gödöllő: SZIE MKK NTTI Földműveléstani Tanszék, pp. 10–45.
17. Birkás M. – Stingli A. – Farkas Cs. – Bottlik L. (2009): Összefüggés a művelés eredetű tömörödés és a klímakárok között. *Növénytermelés*, 58(3), 5–26. DOI: [10.1556/novenyterm.58.2009.3.1](https://doi.org/10.1556/novenyterm.58.2009.3.1)
18. Bódis L., Kralovánszky U. P. (1988): *A szója -élelmiszer és takarmány*. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó.
19. Bond-Lamberty, B. – Thomson, A. (2010): Temperature-associated increases in the global soil respiration record. *Nature*, 464(7288), 579–582. DOI: [10.1038/nature08930](https://doi.org/10.1038/nature08930)
20. Boru, G. – Vantoai, T. – Alves, J. – Hua, D. – Knee, M. (2003): Responses of soybean to oxygen deficiency and elevated root-zone carbon dioxide concentration. *Annals of Botany*, 91(4), 447–453. DOI: [10.1093/aob/mcg040](https://doi.org/10.1093/aob/mcg040)
21. Bottlik L. (2016): *A felszintakarás jelentősége a talajvédelemben és a klímakárok enyhítésében*. [PhD-értekezés] Gödöllő: Növénytudományi Doktori Iskola. DOI: [10.14751/SZIE.2016.015](https://doi.org/10.14751/SZIE.2016.015)
22. Bozóki B. – Kovács G. P. – Birkás M. – Kende, Z. – Gyuricza Cs. (2022): The effects of tillage practices on water regime of soybean (*Glycine max* L.). *Columella : Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 9(2), 145–154. DOI: [10.18380/szie.colum.2022.9.2.145](https://doi.org/10.18380/szie.colum.2022.9.2.145)

23. Brezinščak, L. – Bogunović, I. (2021): Tillage and straw management impact on soil structure, compaction and soybean yield on fluvisol. *Journal of Central European Agriculture*, 22(1), 133–145. DOI: [10.5513/JCEA01/22.1.2975](https://doi.org/10.5513/JCEA01/22.1.2975)
24. Comlekcioglu, N. – Simsek, M. (2011): Effects of deficit irrigation on yield and yield components of vegetable soybean [*Glycine max* L. (Merr.)] in semi-arid conditions. *African Journal of Biotechnology*, 10(33), 6227-6234. DOI: [10.5897/AJB10.2237](https://doi.org/10.5897/AJB10.2237)
25. Csorba Sz. – Farkas Cs. – Birkás M. (2011): Kétpórusú víztartóképeség-függvény a talajművelés-hatás kimutatásában. *Agrokémia És Talajtan*, 60(2), 325–342. DOI: [10.1556/agrokem.60.2011.2.3](https://doi.org/10.1556/agrokem.60.2011.2.3)
26. De Maria, M. – Robinson, E. J. Z. – Kangile, J. R. – Kadigi, R. – Dreoni, I. – Couto, M. – Howai, N. – Peci, J. – Fiennes, S. (2020): *Global Soybean Trade. The Geopolitics of a Bean. The Geopolitics of a Bean*. UK Research and Innovation Global Challenges Research Fund (UKRI GCRF) Trade, Development and the Environment Hub. DOI: [10.34892/7yn1-k494](https://doi.org/10.34892/7yn1-k494)
27. Demo M. (2001): A fenntartható mezőgazdasági rendszerek talajművelési és növénytermesztési sajátosságai. In: Birkás M. (szerk.): *Talajművelés a fenntartható gazdálkodásban*. Gödöllő: Szent István Egyetem Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar, pp. 47–70.
28. Dong, S. – Jiang, Y. – Dong, Y. – Wang, L. – Wang, W. – Ma, Z. – Yan, C. – Ma, C. – Liu, L. (2019): A study on soybean responses to drought stress and rehydration. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(8), 2006-2017. DOI: [10.1016/j.sjbs.2019.08.005](https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.08.005)
29. Dövényi Z. (szerk.)(2010): *Magyarország kistájainak katasztere*. Budapest: MTA Földrajztudományi Kutatóintézet.
30. Engels, C. – Rodrigues, F. A. – Ferreira, A. de O. – Inagaki, T. M. – Nepomuceno, A. L. (2017): Drought effects on soybean cultivation - A review. *Annual Research and Review in Biology*, 16(1), 1-13. DOI: [10.9734/ARRB/2017/35232](https://doi.org/10.9734/ARRB/2017/35232)
31. Falcon, W. P. – Naylor, R. L. – Shankar, N. D. (2022): Rethinking Global Food Demand for 2050. *Population and Development Review*, 48(4), 921-957. DOI: [10.1111/padr.12508](https://doi.org/10.1111/padr.12508)
32. Fernandes, R. D. M. – de Melo, D. M. – Elli, E. F. – Battisti, R. (2022): Climate change impacts on rainfed and irrigated soybean yield in Brazil's new agricultural frontier. *Theoretical and Applied Climatology*, 147(1–2), 803–816. DOI: [10.1007/s00704-021-03865-w](https://doi.org/10.1007/s00704-021-03865-w)

33. Franchini, J. C. – Junior, A. A. B. – Debiasi, H. – Nepomuceno, A. L. (2017): Root growth of soybean cultivars under different water availability conditions. *Semina: Ciencias Agrarias*, 38(2), 715–724. DOI: [10.5433/1679-0359.2017v38n2p715](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n2p715)
34. Gelybó Gy. – Barcza Z. – Dencső M. – Potyó I. – Kása I. – Horel Á. – Pokovai K. – Birkás M. – Kern A. – Hollós R. – Tóth E. (2022): Effect of tillage and crop type on soil respiration in a long-term field experiment on chernozem soil under temperate climate. *Soil and Tillage Research*, 216(1), Paper 105239, 13 p. DOI: [10.1016/j.still.2021.105239](https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105239)
35. Guan, C. – Li, X. – Zhang, P. – Chen, Y. (2018): Diel hysteresis between soil respiration and soil temperature in a biological soil crust covered desert ecosystem. *PLoS ONE*, 13(4), Paper 0195606, 13 p. DOI: [10.1371/journal.pone.0195606](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195606)
36. Gyuricza Cs. (2001a): A fenntartó talajművelés talajfizikai és biológiai alapjai. In: Birkás M. (szerk.): *Talajművelés a fenntartható gazdálkodásban*. Gödöllő: Szent István Egyetem Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar, pp. 71–98.
37. Gyuricza Cs. (2001b): A szántóföldi talajhasználat környezetvédelmi vonatkozásai. In: Gyuricza Cs. (szerk.): *A szántóföldi talajhasználat alapjai*. Gödöllő: SZIE MKK NTTI Földműveléstani Tanszék, pp. 175–190.
38. Gyuricza Cs. (2001c): A termőhelyi tényezők szerepe a növénytermesztésben. In: Gyuricza Cs. (szerk.): *A szántóföldi talajhasználat alapjai*. Gödöllő: SZIE MKK NTTI Földműveléstani Tanszék, pp. 17–31.
39. Gyuricza Cs. (2004): A szántóföldi talajhasználat és az üvegházhatás összefüggései mért adatok alapján. In: Birkás M. – Gyuricza Cs. (szerk.): *Talajhasználat - Műveléshatás - Talajnedvesség*. Gödöllő: SZIE MKK NTTI Földműveléstani Tanszék, pp. 47–60.
40. Hatfield, J. L. – Prueger, J. H. (2015): Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10(1), 4-10.
DOI: [10.1016/j.wace.2015.08.001](https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001)
41. http1: Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT) honlapja. Letöltés dátuma: 2024. 03.18. Forrás: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
42. http2: Eurostat honlapja. Letöltés dátuma: 2024. 03.18. Forrás: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser>
43. http3: Központi Statisztikai Hivatal honlapja. Letöltés dátuma: 2024. 03.18. Forrás: https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0080.html
44. Jin, Z. – Zhuang, Q. – Wang, J. – Archontoulis, S. V. – Zobel, Z. – Kotamarthi, V. R. (2017): The combined and separate impacts of climate extremes on the current and future US

- rainfed maize and soybean production under elevated CO₂. *Global Change Biology*, 23(7), 2687–2704. DOI: [10.1111/gcb.13617](https://doi.org/10.1111/gcb.13617)
45. Jumrani, K. – Bhatia, V. S. (2018): Impact of combined stress of high temperature and water deficit on growth and seed yield of soybean. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 24(1), 37–50. DOI: [10.1007/s12298-017-0480-5](https://doi.org/10.1007/s12298-017-0480-5)
46. Kandel, T. P. – Lærke, P. E. – Elsgaard, L. (2016): Effect of chamber enclosure time on soil respiration flux: A comparison of linear and non-linear flux calculation methods. *Atmospheric Environment*, 141(1), 245–254. DOI: [10.1016/j.atmosenv.2016.06.062](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.06.062)
47. Kladivko, E. J. – Griffith, D. R. – Mannering, J. V. (1986): Conservation tillage effects on soil properties and yields of corn and soya beans in Indiana. *Soil and Tillage Research*, 8(1), 277–287. DOI: [10.1016/0167-1987\(86\)90340-5](https://doi.org/10.1016/0167-1987(86)90340-5)
48. Klimek-Kopyra, A. – Sadowska, U. – Kubó, M. – Gliniak, M. – Sikora, J. (2021): Sunflower Husk Biochar as a Key Agrotechnical Factor Enhancing Sustainable Soybean Production. *Agriculture*, 11(4), Paper 305, 14 p. DOI: [10.3390/agriculture11040305](https://doi.org/10.3390/agriculture11040305)
49. Kolaric, Lj. – Zivanovic, Lj. – Popovic, V. – Ikanovic, J. – Srebric, M. (2014): Influence of inter-row spacing and cultivar on the productivity of soybean. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 30(3), 517-528. DOI: [10.2298/bah1403517k](https://doi.org/10.2298/bah1403517k)
50. Krishnamurthy, L. – Kashiwagi, J. – Gaur, P. M. – Upadhyaya, H. D. – Vadez, V. (2010): Sources of tolerance to terminal drought in the chickpea (*Cicer arietinum* L.) minicore germplasm. *Field Crops Research*, 119(2–3), 322-330. DOI: [10.1016/j.fcr.2010.08.002](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.08.002)
51. Kulmány I. M. – Enzsöl E. – Vona V. – Kovács B. – Milics G. (2020): Hüvelyes növények (Fabales) szerepe a növénytermesztésben és az üvegházhatású gázkibocsátás csökkentésében. *Acta Agronomica Óváriensis*, 61(1), 33-72.
52. Kurnik E. (1987): A szójatermesztés ökológiai és agrotechnikai vonatkozásai. In: Kurnik E. – Szabó L. (szerk.): *A szója: Glycine max (L.) Merrill (III/18.)*. Budapest: Akadémiai Kiadó, pp. 132–150.
53. Kuszák K. – Vadász A. (2022): Szója. In: Izsáki Z. –Kruppa J. (szerk.): *Szántóföldi növények vetőmagtermesztése 2. - Gabonafélék, hüvelyesek, gyökér- és gumós növények*. Gödöllő: Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, pp. 172–183.
54. Lamaoui, M. – Jemo, M. – Datla, R. – Bekkaoui, F. (2018): Heat and drought stresses in crops and approaches for their mitigation. *Frontiers in Chemistry*, 6(1), Paper 26, 14 p. DOI: [10.3389/fchem.2018.00026](https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00026)
55. Láng, I. (2003): *Agrártermelés és globális környezetterhelés*. Budapest: Mezőgazda Kiadó.

56. Li, Z. – Zhang, Q. – Qiao, Y. – Du, K. – Li, Z. – Tian, C. – Zhu, N. – Leng, P. – Yue, Z. – Cheng, H. – Chen, G. – Li, F. (2022): Evaluation of no-tillage impacts on soil respiration by ¹³C-isotopic signature in North China Plain. *Science of the Total Environment*, 824(1), Paper 153852, 10 p. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2022.153852](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153852)
57. Madalina, V. – Valentina, C. – Natalia, E. – Lucian, L. – Monica, M. – Anda, R. – Norbert, B. – Madalina, B. – Silviu, S. – György, D. (2020): Experimental determination of carbon dioxide flux in soil and correlation with dependent parameters. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 616(1), Paper 012010, 11 p.
DOI: [10.1088/1755-1315/616/1/012010](https://doi.org/10.1088/1755-1315/616/1/012010)
58. Mertz-Henning, L. M. – Ferreira, L. C. – Henning, F. A. – Mandarino, J. M. G. – Santos, E. D. – Oliveira, M. C. N. D. – Nepomuceno, A. L. – Farias, J. R. B. – Neumaier, N. (2018): Effect of water deficit-induced at vegetative and reproductive stages on protein and oil content in soybean grains. *Agronomy*, 8(1), Paper 3, 11 p. DOI: [10.3390/agronomy8010003](https://doi.org/10.3390/agronomy8010003)
59. Micucci, F. G. – Taboada, M. A. (2006): Soil physical properties and soybean (*Glycine max*, Merrill) root abundance in conventionally- and zero-tilled soils in the humid Pampas of Argentina. *Soil and Tillage Research*, 86(2), 152–162. DOI: [10.1016/j.still.2005.02.004](https://doi.org/10.1016/j.still.2005.02.004)
60. Narolia, R. S. – Ram, B. – Singh, P. – Dhakar, R. R. (2021): Effect of irrigation, residue and nutrient management on growth, yield and nutrient uptake by soybean under soybean-wheat cropping system in south-eastern Rajasthan. *Journal of Food Legumes*, 34(2), 92-98.
Letöltés dátuma: 2024.01.26.
forrás: <https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:jfl&volume=34&issue=2&article=004>
61. Omondi, J. O. – Mungai, N. W. – Ouma, J. P. – Baijukya, F. P. (2015): Mitigating mid-season drought effect in soybean (*Glycine max* L. merril) in western Kenya. *Legume Research*, 38(4), 477-483. DOI: [10.5958/0976-0571.2015.00131.9](https://doi.org/10.5958/0976-0571.2015.00131.9)
62. Oosterhuis, D. M. – Scott, H. D. – Hampton, R. E. – Wullschlegel, S. D. (1990): Physiological responses of two soybean [*Glycine max* (L.) Merr] cultivars to short-term flooding. *Environmental and Experimental Botany*, 30(1), 85-92.
DOI: [10.1016/0098-8472\(90\)90012-S](https://doi.org/10.1016/0098-8472(90)90012-S)
63. Páczay Gy. B. (2017): Újabb politikai lépés a saját GMO-mentes takarmány megteremtése felé. *Agrár- És Környezetjog*, 12(22), 102–131. DOI: [10.21029/jael.2017.22.102](https://doi.org/10.21029/jael.2017.22.102)
64. Pál I. (1983): A szója élettana. In: Pál I. (szerk.): *Főbb mezőgazdasági növényeink élettana*. Gödöllő: Agrártudományi Egyetem Mezőgazdaságtudományi Kar. pp. 186–204.

65. Pető, K. – Huzsvai, L. (1991): Az agrotechnikai tényezők talajnedvességre gyakorolt hatása szója kísérletekben. *Növénytermelés*, 40(6), 535–541.
66. Qiao, C. – Cheng, C. – Ali, T. (2023): How climate change and international trade will shape the future global soybean security pattern. *Journal of Cleaner Production*, 422(1), Paper 138603, 14 p. DOI: [10.1016/j.jclepro.2023.138603](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138603)
67. Radics, L. – Pusztai, P. (2011): Szója. In *Alternatív növények korszerű termesztése*. Budapest: Szaktudás Kiadó Ház, pp. 237–264.
68. Raich, J. W. – Schlesinger, W. H. (1992): The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*, 44B(2), 81–99. DOI: [10.3402/tellusb.v44i2.15428](https://doi.org/10.3402/tellusb.v44i2.15428)
69. Reth, S. – Reichstein, M. – Falge, E. (2005): The effect of soil water content, soil temperature, soil pH-value and the root mass on soil CO₂ efflux - A modified model. *Plant and Soil*, 268(1), 21–33. DOI: [10.1007/s11104-005-0175-5](https://doi.org/10.1007/s11104-005-0175-5)
70. Rosenzweig, C. – Tubiello, F. N. (2007): Adaptation and mitigation strategies in agriculture: An analysis of potential synergies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12(5), 855–873. DOI: [10.1007/s11027-007-9103-8](https://doi.org/10.1007/s11027-007-9103-8)
71. Ruzsányi, L. – Lesznyák, M. (2002): A talajnedvesség idő- és térbeli változása és a ható tényezők értékelése. In: Jávora A. – Sárvári M. (szerk.): *Innováció, a tudomány és a gyakorlat egysége az ezredforduló agráriumban: növénytermesztés*. Debrecen: Debreceni Egyetem Mezőgazdaságtudományi Kar, pp. 123–131.
72. Ruzsányi, L. – Lesznyák, M. (2004): Takarmánynövények termésmennyiségét és minőségét meghatározó tápanyag- és vízháztartási kutatások. In: Pepó P. –Sárvári M. (szerk.), *Integrált agrárgazdasági modellek a XXI. század mezőgazdaságában: növénytermesztés*. Debrecen: Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum, pp. 53–63.
73. Santos, E. L. – Agassi, V. J. – Chicowski, A. S. – Franchini, J. C. – Debiasi, H. – Balbinot Junior, A. A. (2018): Hill drop sowing of soybean with different number of plants per hole. *Ciencia Rural*, 48(5), Paper 20170389, 6 p. DOI: [10.1590/0103-8478cr20170389](https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170389)
74. Setiyono, T. D. – Weiss, A. – Specht, J. – Bastidas, A. M. – Cassman, K. G. – Dobermann, A. (2007): Understanding and modeling the effect of temperature and daylength on soybean phenology under high-yield conditions. *Field Crops Research*, 100(2–3), 257–271. DOI: [10.1016/j.fcr.2006.07.011](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.07.011)
75. Shakoob, A. – Shahbaz, M. – Farooq, T. H. – Sahar, N. E. – Shahzad, S. M. – Altaf, M. M. – Ashraf, M. (2021): A global meta-analysis of greenhouse gases emission and crop yield

- under no-tillage as compared to conventional tillage. *Science of the Total Environment*, 750(1), Paper 142299, 16 p. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.142299](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142299)
76. Shurtleff, W., Aoyagi, A. (2021): *Early history of soybeans and soyfoods worldwide to 1899*. Lafayette: Soyinfo Center. Letöltés dátuma: 2024.02.28. forrás: <https://www.soyinfo.com/pdf/243/Chr12.pdf>
77. Silva, G. F. – Calonego, J. C. – Luperini, B. C. O. – Chamma, L. – Alves, E. R. – Rodrigues, S. A. – Putti, F. F. – da Silva, V. M. – Silva, M. de A. (2022): Soil—Plant Relationships in Soybean Cultivated under Conventional Tillage and Long-Term No-Tillage. *Agronomy*, 12(3), Paper 697, 13 p. DOI: [10.3390/agronomy12030697](https://doi.org/10.3390/agronomy12030697)
78. Singh, P. – Nedumaran, S. – Ntare, B. R. – Boote, K. J. – Singh, N. P. – Srinivas, K. – Bantilan, M. C. S. (2014): Potential benefits of drought and heat tolerance in groundnut for adaptation to climate change in India and West Africa. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19(5), 509–529. DOI: [10.1007/s11027-012-9446-7](https://doi.org/10.1007/s11027-012-9446-7)
79. Singh, R. J. (2017): Botany and Cytogenetics of Soybean. In: Nguyen, H. T. – Bhattacharyya, M. K. (szerk.): *The Soybean Genome*. Cham: Springer Cham, pp. 11–40. DOI: [10.1007/978-3-319-64198-0_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-64198-0_2)
80. Sullivan, M. – VanToai, T. – Fausey, N. – Beuerlein, J. – Parkinson, R. – Soboyejo, A. (2001): Evaluating On-Farm Flooding Impacts on Soybean. *Crop Science*, 41(1), 93–100. DOI: [10.2135/cropsci2001.41193x](https://doi.org/10.2135/cropsci2001.41193x)
81. Syromyatnikov, Y. – Semenenko, I. – Maksimovich, K. – Troyanovskaya, I. – Karnaukhov, A. – Orekhovskaya, A. – Voinash, S. (2023): Influence of Agrotechnical Practices and Sowing Time in Various Weather on Soybean Yield. *Acta Technologica Agriculturae*, 26(1), 9–16. DOI: [10.2478/ata-2023-0002](https://doi.org/10.2478/ata-2023-0002)
82. Szabó I. M. (1992): A mikroorganizmusok aktivitásának szabályozása. In: Szabó I. M. (szerk.): *Az általános talajtan biológiai alapjai*. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó, pp. 325–335.
83. Szabó L. (1987): A szója külső alaktana. In: Kurnik E. – Szabó L. (szerk.): *A szója: Glycine max (L.) Merrill (III/18.)*. Budapest: Akadémiai Kiadó, pp. 23–32.
84. Szakál P. – Tölgyesi E. (1990): A szója mikroelemes lombtrágyázása, 1987. évi eredmények. *Növénytermelés*, 39(3), 275–283.
85. Timilsina, A. P. – Baigorria, G. A. – Wilhite, D. – Shulski, M. – Heeren, D. – Romero, C. – Fensterseifer, C. (2023): Soybean response under climatic scenarios with changed mean and variability under rainfed and irrigated conditions in major soybean growing states of

- the United States. *Journal of Agricultural Science*, 161(2), 157-174. DOI: [10.1017/S0021859623000011](https://doi.org/10.1017/S0021859623000011)
86. Törő Á. – Ragán P. – Rátonyi T. – Harsányi E. (2018): Examinations of the carbon dioxide emission of the soil in the case of different tillage methods in a field experiment. *Acta Agraria Debreceniensis*, 74(1), 209–212. DOI: [10.34101/actaagrar/74/1693](https://doi.org/10.34101/actaagrar/74/1693)
87. Turan, V. – Schröder, P. – Bilen, S. – Insam, H. – Fernández-Delgado Juárez, M. (2019): Co-inoculation effect of *Rhizobium* and *Achillea millefolium* L. oil extracts on growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and soil microbial-chemical properties. *Scientific Reports*, 9(1), Paper 15178, 10 p. DOI: [10.1038/s41598-019-51587-x](https://doi.org/10.1038/s41598-019-51587-x)
88. Wiriyatangsakul, S. – Chidthaisong, A. – Tripetchkul, S. – Limtong, P. (2006): Effects of Moisture and Temperature on Respiration in Tropical Forest and Agricultural Soils. *Agriculture and Natural Resources*, 40(2), 395 – 409. Letöltés dátuma: 2024.01.28. forrás: <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/anres/article/view/243682>
89. Zhang, T. – Lin, X. – Sassenrath, G. F. (2015): Current irrigation practices in the central United States reduce drought and extreme heat impacts for maize and soybean, but not for wheat. *Science of the Total Environment*, 508(1), 331-342. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2014.12.004](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.004)
90. Zhang, X. – Xin, X. – Yang, W. – Ding, S. – Ren, G. – Li, M. – Zhu, A. (2021): Soil respiration and net carbon flux response to long-term reduced/no-tillage with and without residues in a wheat-maize cropping system. *Soil and Tillage Research*, 214(1), Paper 105182, 10 p. DOI: [10.1016/j.still.2021.105182](https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105182)
91. Zhou, Q. – Song, S. – Wang, X. – Yan, C. – Ma, C. – Dong, S. (2022): Effects of drought stress on flowering soybean physiology under different soil conditions. *Plant, Soil and Environment*, 68(10), 487–498. DOI: [10.17221/237/2022-PSE](https://doi.org/10.17221/237/2022-PSE)
92. Zhou, W. – Guan, K. – Peng, B. – Wang, Z. – Fu, R. – Li, B. – Ainsworth, E. A. – DeLucia, E. – Zhao, L. – Chen, Z. (2021): A generic risk assessment framework to evaluate historical and future climate-induced risk for rainfed corn and soybean yield in the U.S. Midwest. *Weather and Climate Extremes*, 33(1), Paper 100369, 16 p. DOI: [10.1016/j.wace.2021.100369](https://doi.org/10.1016/j.wace.2021.100369)

Ábrák és táblázatok jegyzéke

1. ábra A szójaállományról készült műholdfelvétel 2023. augusztusában	19
2. ábra A kísérlet beállításának sematikus ábrája	21
3. ábra Éves csapadék (mm) havi bontásban 2022-2023 között és az 1965-1995 időszak átlaga	23
4. ábra A 2022. őszi mérések talajnedvesség értékeinek kezelésenkénti összehasonlítása 0-15 cm mélységben	24
5. ábra A 2023. évi mérések talajnedvesség értékeinek kezelésenkénti összehasonlítása 0-15 cm mélységben	26
6. ábra A 2022. őszi mérések talajnedvesség értékeinek kezelésenkénti összehasonlítása 15-30 cm mélységben	26
7. ábra A 2023. évi mérések talajnedvesség értékeinek kezelésenkénti összehasonlítása 15-30 cm mélységben	28
8. ábra A 2022. őszi mérések talajnedvesség értékeinek kezelésenkénti összehasonlítása 30-50 cm mélységben	29
9. ábra A 2023. évi mérések talajnedvesség értékeinek kezelésenkénti összehasonlítása 30-50 cm mélységben	30
10. ábra A 2022. őszi és a 2023. évi mérések L-értékeinek kezelésenkénti összehasonlítása	31
11. ábra A 2022. őszi és a 2023. évi mérések Q-értékeinek kezelésenkénti összehasonlítása	32
12. ábra Az egy m ² -en megtalálható növényszám kezelésenkénti összehasonlítása	33
13. ábra Az egy növényen lévő hüvelyszám kezelésenkénti összehasonlítása	34
14. ábra Az egy növényen megtalálható magszám kezelésenkénti összehasonlítása	36
15. ábra A szója termésmennyiségének kezelésenkénti összehasonlítása	37
1. táblázat A vizsgálati időtartamra vonatkozó csapadékadatok (mm) havi és éves bontásban	20
2. táblázat Post-hoc összehasonlítása a művelések közötti átlagos különbségeknek a talaj nedvességtartalmára gyakorolt hatásuk alapján 0-15 cm mélységben $p < 0,001$ szinten	25
3. táblázat Post-hoc összehasonlítása a művelések közötti átlagos különbségeknek a talaj nedvességtartalmára gyakorolt hatásuk alapján 15-30 cm mélységben $p < 0,001$ szinten	27
4. táblázat Post-hoc összehasonlítása a művelések közötti átlagos különbségeknek az 1 m ² -en előforduló növényszám változásra gyakorolt hatásuk alapján $p < 0,001$ szinten	34
5. táblázat Post-hoc összehasonlítása a művelések közötti átlagos különbségeknek az egy növényen megtalálható hüvelyek számára gyakorolt hatásuk alapján $p < 0,001$ szinten	35
6. táblázat Post-hoc összehasonlítása a művelések közötti átlagos különbségeknek az egy növényen megtalálható magok számára gyakorolt hatásuk alapján $p < 0,001$ szinten	37
7. táblázat Post-hoc összehasonlítása a művelések közötti átlagos különbségeknek a termésmennyiségre gyakorolt hatásuk alapján $p < 0,001$ szinten	38

Mellékletek



1. kép A kísérleti tér a 2022-es alpművelést követően
(Forrás: Saját fotó)



2. kép A talajnedvesség mérése
(Forrás: Mártonné Édes Szintia)



3. kép A szén-dioxid kibocsátás mérése infravörös-
gázanalizátorral
(Forrás: Saját fotó)



4. kép A szója vetése
(Forrás: Saját fotó)



5. kép A szójaállomány 2023. augusztus 15-én
(Forrás: Saját fotó)



6. kép A szójaállomány 2023. szeptember 13-án
(Forrás: Saját fotó)



8. kép A Direktvetés és a Szántás parcellája a 2023-as
alpművelést követően.
(Forrás: Saját fotó)



7. kép Az egy növényen
lévő hüvely- és magszám
meghatározása
(Forrás: Saját fotó)



9. kép Sekély gyökézzel
rendelkező szója
szármaradvány
Tárcsázásban a 2023-as
alpművelést követően
(Forrás: Saját fotó)

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőimnek, Dr. Kende Zoltán egyetemi adjunktusnak és Bozóki Boglárka PhD hallgatónak, akik szakmai iránymutatásaikkal és folyamatos odafigyelésükkel segítettek dolgozatom elkészítésében.

Köszönettel tartozom a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Szent István Campus, Növénytermesztési-tudományok Intézetének a mérések elvégzéséhez szükséges mérőműszerek biztosításáért, továbbá hálával tartozom a MATE Tangazdaság Nonprofit Kft. Józsefmajori Kísérleti- és Tangazdaság dolgozóinak a tartamkísérletben végzett munkájukért.

Megkülönböztetett köszönetem fejezem ki szaktársaimnak, Csörgő Evelin Petrának, Dihen Adrienn Tündének és Mártonné Édes Szintióának, akik fáradhatatlan munkájukkal segítették a helyszíni mérések végrehajtását.

Hálás szívvel köszönöm továbbá családomnak a rengeteg biztatást és támogatást, amelyet tőlük kaptam tanulmányaim során.

Végül, de nem utolsó sorban szeretnék köszönetet mondani a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetemért Alapítvány kuratóriumának, amiért TDK felkészülési ösztöndíjjal támogatták kutatásomat, ezzel is segítve dolgozatom elkészítésében.

Eredetiség és szellemi tulajdonkezelési nyilatkozat

NYILATKOZAT

a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Bíró Sándor
A Hallgató Neptun kódja: LZVV89
A dolgozat címe: Különböző alpművelési eljárások hatásának vizsgálata a szója termésmennyiségére a talaj CO₂ kibocsátás- és nedvességtartalom változása aspektusából
A megjelenés éve: 2024
A konzulensek intézetének neve: Növénytermesztési-tudományok Intézet
A konzulensek tanszékének a neve: Agronómia Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

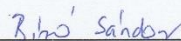
A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumába. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumában.

Kelt: Gödöllő, 2024. április 25.


Hallgató aláírása

Konzulensi nyilatkozat a beadhatóságról

NYILATKOZAT

BIRO' SANDOR (név) (hallgató Neptun azonosítója: LZVU86)
konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*2}

Kelt: június 2024 év 04 hó 25 nap

ICC RB
belső konzulens

¹ A megfelelő aláhúzendó.

² A megfelelő aláhúzendó.