

## Eltérő vízellátottsági szintek hatása az ipari paradicsom gyökérzetére

M'HAMDI OUSSAMA, ÉGEI MÁRTON, PÉK ZOLTÁN, TAKÁCS SÁNDOR

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Kertészettudományi Intézet, Gödöllő

E-mail: Takacs.Sandor@uni-mate.hu

### Összefoglaló

Az édesvízkészletek egyre intenzívebbé váló felhasználása és csökkenő hozzáférhetősége mellett fontos a termesztett növények termésszintjeinek fenntartása, ugyanakkor a vízfelhasználás hatékonyságának optimalizálása. Ezek miatt elengedhetetlen, hogy megértsük a különböző növények hogyan reagálnak az eltérő, sok esetben hiányos vízellátottságra. Az elégtelen vízellátottságú helyzetekhez való adaptációban a gyökerek szerepe megkérdőjelezhetetlen, hiszen ők felelnek a vízfelvétel túlnyomó részéért. Jelen tanulmányban három vízellátottsági szint (a növényi evapotranspiráció 100%-a, 50%-a, illetve vízpótló öntözés nélküli kontroll) hatását vizsgáltuk a paradicsom gyökerek darabszámára és hosszára. A gyökerek vizsgálatát 8 hetes monitoring időszakban végeztük egy roncsolásmentes *in-situ* gyökérszkennelvel (CI-600 *in-situ* root imager) 10-70 cm-es mélységben. Az eredmények szerint a paradicsom növény 50%-os deficit öntözés (4313 mm gyökérhossz), illetve rendszeres öntözés nélkül (4094 mm) több és hosszabb gyökeret fejleszt a vizsgált gyökérszónában, mint a teljes vízigény kielégítése mellett (2280 mm). Ugyanakkor a gyökérzet sűrűbb lesz és mélyebbre hatol a vízhiányos kezeléseknél. A közölt eredmények és adatok hozzájárulhatnak az ipari paradicsom öntözésének tervezéséhez, a termesztéstechnológia fejlesztéséhez, illetve a vízhiányos körülményekhez való alkalmazkodást segítő nemesítőmunka során a szelekciós tevékenységhez.

**Kulcsszavak:** gyökérszkennel, öntözés, vízstressz, gyökérhossz, gyökérmélység

### Bevezetés és irodalmi áttekintés

Az agrárium a világ legjelentősebb édesvíz felhasználója, melynek jelentősebb részét fordítják öntözésre (FAO 2021a). Az édesvízkészlet hozzáférhetősége azonban csökken és további csökkenés várható, melynek oka az ipar, a városok, a gyorsan gyarapodó emberi populáció növekvő igénye, valamint a változó klíma (De Wrachien et al. 2021). A hozzáférhetőség csökkenése miatt

a száraz periódusok okozta problémák gyakoribbá és intenzívebbé válnak. A növényi vízigények növekedése a termelés csökkenését okozhatja világszinten, hiszen az egyik legjellemzőbb abiotikus korlátozó tényező a növényi fejlődést és produktivitást tekintve a vízhiány (Tardieu et al. 2018). A növekvő hőmérsékletekkel járó növényi vízigény növekedés és a fejlődő országok populációjának növekvő vízigénye egyszerre jelentkezik, amelyet tovább súlyosbít a talaj vízkészleteinek csökkenése. A természeti fenntartása egy olyan környezetben, ahol az aszály a jelenleg tapasztaltaknál gyakoribb és kiterjedtebb első számú prioritásnak tekinthető (Patané et al. 2021). A vízstresszre adott fiziológiai reakciók vizsgálata a zöldségnövények tekintetében is kiemelten fontos (Nemeskéri et al. 2018; Nemeskéri és Helyes 2019).

A paradicsom jelentős szerepet tölt be táplálkozásunkban friss és feldolgozott termékek formájában és fontos megjegyezni, hogy gazdaságilag is jelentős növényről van szó (FAO 2021b). A legtöbb fajta eltérő mértékben érzékeny a szárazság által kiváltott stresszre a különböző fejlődési fázisaiban (Nemeskéri et al. 2019; Patané et al. 2020). Mivel nagyon magas a bogyók szövetének víztartalma (>90%), emiatt a produkció egyik fő limitáló tényezője az elégtelen vízellátás (Cui et al. 2020). Ezért fontos, hogy az ilyen típusú stresszre adott reakcióinak minél mélyebb megértésére törekedjünk (Patané et al. 2020).

A gyökérrendszer felelős a növény fotoszintéziséhez és növekedéséhez szükséges víz- és tápanyagigényének kielégítéséért. Emiatt további megértése szükséges annak, hogyan befolyásolja a vízellátottság a gyökér anatómiai és fiziológiai tulajdonságait. A gyökerek kiterjedésének nagy szerepe van a növényi vízfelvételben. Kutatási eredmények szerint a legsűrűbben átszőtt talajrétegnek még nagyobb szerepe van abban, hogyan birkózik meg a növény a vízhiányos stresszhelyzettel, mint a maximális gyökerezési mélységnek (Shabbir et al. 2020; Yu et al. 2007). Ugyanakkor a melyre hatoló gyökérzettel rendelkező paradicsom növények vízhiány esetén a mélyebb rétegekből pótolhatják a szükséges vizet a stresszhelyzet negatív hatásainak kivédése érdekében (Machado és Oliveira 2005). A gyökér hossza és sűrűsége nem befolyásolja a vízfelvételt egy bizonyos alsó küszöbíg, amely alatt a vízfelvétel a gyökérzet sűrűségével lesz arányos (Ge et al. 2022). A növényi vízfelvétel hatékonysága akár mikorrhizás vagy növény-növekedést serkentő rhizobaktériumos kezeléssel is növelhető, ami ipari paradicsom esetében is előnyös lehet (Bakr et al. 2018; Le et al. 2018).

Ipari paradicsom esetében is részletes tanulmányok kellenek ahhoz, hogy átfogóbb képet kapjunk arról, különböző vízkészletek esetén hogyan alakul a gyökerek eloszlása és a növényfejlődés a különböző vízellátottság hatására. A vízstressz és az eltérő vízellátottság termésre és bogyók beltartalmi mutatóira vonatkozó eredmények jól dokumentáltak az irodalomban ipari paradicsom esetében (Takács et al. 2021; Takács és Bíró 2022; Nemeskéri et al. 2022; Andreyi et al. 2021; Helyes et al. 2018), illetve a vízstressz mérésére is több módszert vizsgáltak sikerrel (Böcs et al. 2009, 2010). Azonban gyökérzetre vonatkozó roncsolásmentesen vizsgált eredményeket még nem közöltek, mindössze roncsolásos vizsgálatra találhatunk példát (Machado és Oliveira 2003). Jelen tanulmány ahhoz szolgáltat kutatási eredményeket, hogy a különböző szintű szárazságstressz hogyan befolyásolja az ipari paradicsom gyökerei hosszának és számának alakulását a gyökérzóna különböző rétegeiben.

## Anyag és módszer

### A kísérlet beállítása

Kísérletünket a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Kertészeti Tanüzemében (GPS: 47°34'51.6"N 19°22'39.0"E) állítottuk be Gödöllőn 2020-ban, amelyben a H1015 (Pomodoro AGRO Kft., Mezőberény) paradicsom hibridet alkalmaztuk és vizsgáltuk. A kísérleti terület talaja fizikai féleségét tekintve homok, az Arany-féle kötöttségi szám alapján (29), szervesanyag tartalma alacsony. A május 14-i kiültetéskor 140 cm-es sortávolságot és 20 cm tőtávolságot alkalmaztunk, így a növény-sűrűség 3,57 növény  $m^{-2}$  volt. Az alaptrágyaként, illetve a vegetációs időben fejrtrágyaként kijuttatott tápanyagmennyiség az alábbi volt: 129  $kg\ ha^{-1}$  N, 89  $kg\ ha^{-1}$   $P_2O_5$  és 317  $kg\ ha^{-1}$   $K_2O$  hatóanyag. A vízellátást csepegtető szalaggal biztosítottuk. Kiültetést követően azonnal 5 mm indító öntözést végeztünk el. Az I100 kezelésben a növényi evapotranszpiráció (ET) 100%-át juttattuk ki, míg az I50 kezelésben ennek a felét öntöztük ki. Kontrollként (K) egy öntözetlen kezelést alkalmaztunk. A két öntözött kezelésben különböző csepegtető szalagokkal biztosítottuk az eltérő mértékű öntözést (Irritec S.p.A., Rocca di Caprileone, Italy). Az I100 kezelésben kihelyezett szalagnál a vízkijuttató elemek távolsága 10 cm, amely 10,6  $l\ óra^{-1}\ m^{-1}$ , vízkijuttatást biztosít, míg az I50 kezelésben 15 cm vízkijuttató elem kiosztású szalagot húztunk ki, melynek vízkijuttatása 5,3  $l\ óra^{-1}\ m^{-1}$ . A csepegtető szalagok és a gyökerek vizsgálatára használt műanyag csövek pozíciója minden kezelésben egységes volt. Az egyes kezelések területe 168  $m^2$  volt.

A növényi vízigény kiszámítására a Penman-Monteith számításon alapuló AquaCrop (FAO Róma, Olaszország) szoftvert használtuk (Takács et al. 2021). A modellhez használt meteorológiai adatokat a tanüzemben elhelyezett meteorológiai állomás biztosította. Az öntözési kezeléseket június 8-án állítottuk be, az utolsó öntözést pedig augusztus 3-án hajtottuk végre. A természetes csapadék viszonylag jó eloszlású és az átlagos felett volt a 2020-as tenyészidőszakban. Ez a tényező részben akadályozta az eltérő vízellátási kezeléseket kialakítását, emiatt monitoring időszaknak a június 25. – augusztus 8. közötti időszakot jelöltük ki, amely viszonylag koherens és folyamatos öntözési kezelésekkal jellemzett. Ehhez az időszakhoz kapcsoltuk a gyökérrendszer fejlődésének monitorozását. Ebben az időszakban a természetes csapadék 115 mm volt, amely egyben az I0 kontroll kezelés teljes vízellátását is jelentette. A monitoring periódus vízellátása az I100 kezelésben 198 mm, az I50 kezelésben 157 mm volt. Az ET 194 mm volt, amely napi 4,3 mm átlagot jelent.

### A gyökérszkennelés

A gyökérzet szkennelését CI-600 *in-situ* gyökérszkennelőrrel (CID Bio-Science Inc., Camas, WA, USA) végeztük. Az eszköz lehetővé teszi, hogy a gyökérzet egy részéről készítsünk felvételeket nondestruktív módon. Működés közben a henger alakú szkennelőr egy átlátszó falú műanyag csőben forog. A szkennelőr energiaellátása USB-n keresztül laptopról biztosítható. A sztenderd cső hossza 105 cm, 6,35 cm belső és 7 cm-es külső átmérővel. A szkennelőr fej 34,3 cm hosszú, átmérője 6,35 cm. A digitális képek 21,6x19,6 cm méretűek, felbontásuk 300 dpi (1. ábra). A képeket a talajszinttől számítva három különböző mélységben készítettük (10-30 cm, 30-50 cm és 50-70 cm). A szkennert minden mérési alkalom kezdetekor kalibráltuk a fehér kalibrációs csőben. A képek rögzítésére a CI-600 Root Scanner szoftvert, míg a képek elemzésére a RootSnap! szoftvert (CID Bio-Science Inc., Camas, WA, USA) használtuk. A szkennelésre heti egyszer került sor a vizsgált

időperiódusban. A monitoring csöveket 3 ismétlésben, közvetlenül a palánták kiültetését követően, random módon kiválasztott növények mellé helyeztük ki ~10 cm-re a palánták tővétől. A szükséges lyukakat 7 cm átmérőjű talajfúróval létesítettük. Mivel a kihelyezés közvetlen a kiültetés után történt, emiatt a csövek és a fúrás folyamata semmilyen kárt nem okozott a növények gyökérzetében.

1. *ábra.* CI-600 gyökérszkennerral készült felvétel a paradicsom gyökérzetének egy részéről



*Figure 1.* Image of one part of the root system of a tomato plant

### Képfeldolgozás

A RootSnapbe feltöltött képeket először definiálni kell, amely a monitoring cső azonosítását, a vizsgált mélység és a dátum beállítását jelenti. A talaj és a gyökérzet elkülönítésére létezik automata funkció is, amely utólag manuálisan felülbíráható, de a tapasztalataink szerint célszerűbb a gyökerek manuális azonosítása. Ezt követően a kijelölt és azonosított gyökerek adatairól szóló táblázat megtekinthető és kimenthető .csv formátumban. A szkennelt képeken mindössze a monitoring cső fala mellett fejlődő gyökerekről vagyunk képesek adatot gyűjteni, ezért a tanulmányban közölt adatok és elemzések ezekre vonatkoznak a továbbiakban. A vizsgálatban szereplő gyökér darabszám a képen található, nem összefüggő gyökerek számát jelenti, míg a gyökérhossz az egyes gyökerek hosszának összegét fejezi ki.

A statisztikai feldolgozás során egytényezős varianciaanalízissel vizsgáltuk a gyökér szám és -hossz közötti különbségeket az eltérő mélység és öntözési kezelés tükrében. A közölt eredmények  $p < 0,05$  szinten szignifikánsak. Az elemzéshez SPSS 22.0 (IBM, Armonk, NY, USA) szoftvert használtunk.

### Eredmények

#### Gyökerek száma és hossza

A kísérlet eredményei szerint a különböző öntözési szinteken eltérő volt a gyökerek száma és hossza a teljes vizsgált gyökérszónát alapul véve, a teljes monitoring periódus átlagát tekintve (2. *ábra A és B*).

2. ábra. A gyökerek darabszámának átlaga (A) és a teljes gyökérhossz (B) az eltérő vízellátottsági szinteken. A különböző betűk statisztikai különbséget jeleznek ( $p < 0,05$ ;  $n = 9$ ).

Az oszlopokon található hibavonalak a szórást jelölik.

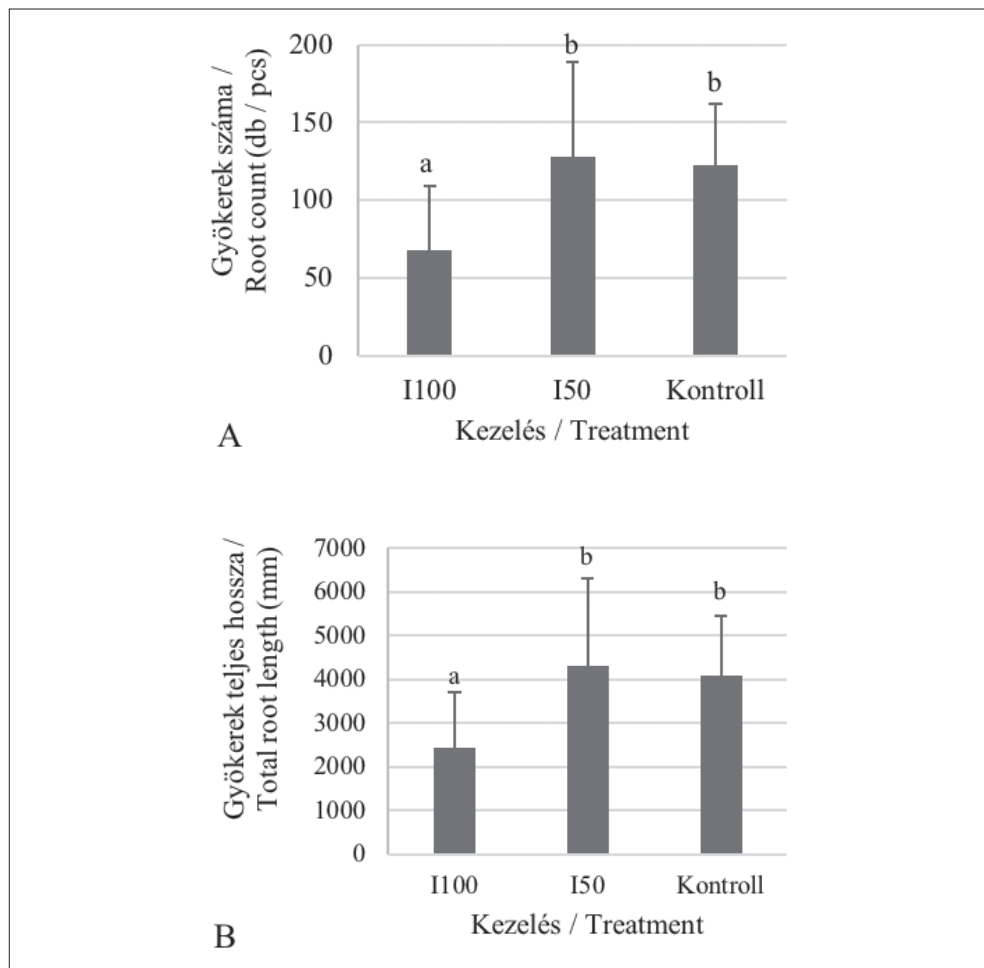


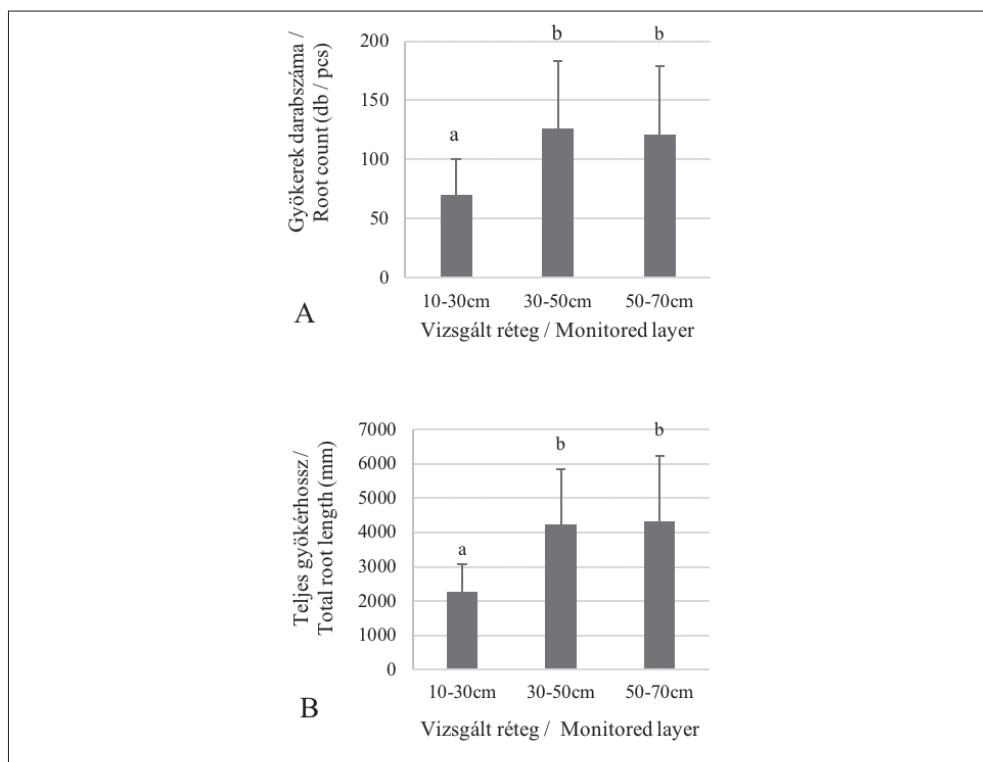
Figure 2. Average of root number under different treatments (A) and average of total root length under different treatments (B). Different letters indicate statistical differences ( $p < 0,05$ ;  $n = 3$ ). Error bars indicate standard deviation.

A statisztikai elemzés szerint a teljes vízigény kielégítése mellett (I100) kevesebb a gyökerek darabszáma, illetve kisebb a teljes gyökérhossz (átlagosan 67 db gyökér növényenként 2442 mm teljes hosszal). Azonban az enyhe (I50), illetve jelentős vízhiánynak kitett növények (K) között nem találtunk szignifikáns különbséget sem a gyökerek számát, sem a teljes hosszát tekintve.

A különbség mind a darabszámot (129, illetve 123), mind a teljes hosszt tekintve (4314, illetve 4095 mm) elhanyagolható az I50 kezelés javára.

A 3. ábrán bemutatott adatok szerint a növények több (3. ábra A) és hosszabb (3. ábra B) gyökeret fejlesztettek a középső (30-50 cm) és mélyebb (50-70 cm) rétegben, mint a felső (10-30 cm) monitorozott rétegben a teljes állományt tekintve. A középső rétegben 127 db, míg a legmélyebb vizsgált rétegben 122 db gyökeret sikerült azonosítani 4250 mm, illetve 4319 mm teljes hosszal. A felső rétegben ezzel szemben mindössze 70 db gyökeret sikerült rögzíteni a képeken, amelyek teljes hossza 2281 mm volt.

*3. ábra.* Az átlagos gyökér darabszám (A) és teljes gyökér hosszúság (B) a gyökérszóna vizsgált rétegeiben. A különböző betűk statisztikai különbséget jelentenek ( $p < 0,05$  és  $n=9$ ). A hibásávok a szórást jelentik.



*Figure 3.* Average of root count (A) and the average of total root length (B) in different soil layers. Different letters indicate statistical differences ( $p < 0,05$ ;  $n=9$ ). Error bars represent the standard deviation

### A gyökérzet alakulása a monitoring időszakban

A teljes vízigény kielégítése mellett volt a legkisebb a gyökerek száma és a teljes hossz is a teljes monitoring időszakban. Az I100 kezelésben a maximális darabszámot a monitoring periódus végén találtuk (81 db), míg a legnagyobb teljes hossz július 16-án volt mérhető (2932 mm). A vizsgálat első 3 hetében a kontrollban volt a legmagasabb a darabszám, majd a K és I50 kezelés kiegyenlítődik és a monitoring időszak utolsó 4 hetében már az I50 kezelésben a legmagasabb a gyökerek darabszáma (4. ábra). A legintenzívebb fejlődést az első két vizsgálati nap között eltelt egy hetes periódusban mutatta az I50 kezelés, hiszen az első alkalommal még darabszámban és hosszban is az I100 kezeléssel azonos szinten volt, viszont egy hét alatt a darabszám és a hossz is közel háromszorosára nőtt és megközelítette az öntözetlen kezelés értékeit. A kontrollban 21,6%-os visszaesés tapasztalható a gyökérszámban és 19%-os a gyökérhosszban július 22. és augusztus 6. között.

4. ábra. A gyökér darabszám (A) és a teljes gyökérhossz (B) alakulása öntözési kezelésként a vizsgált időszakban. A hibásávok a szórást jelölik.

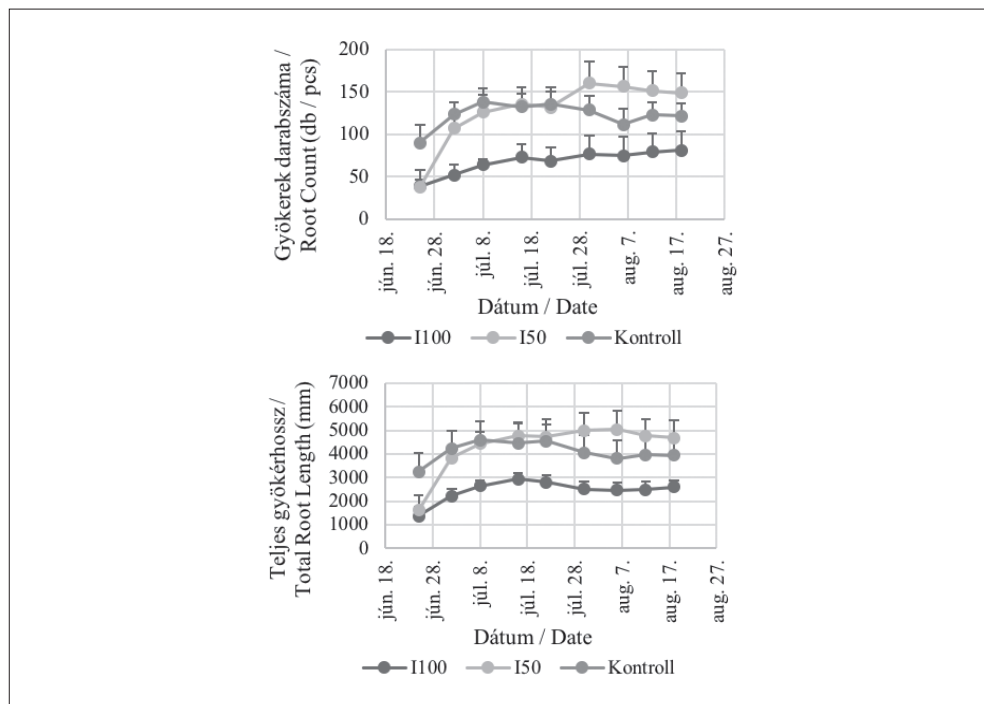


Figure 4. Evolution of root count (A) and total root length (B) in different water supply treatments. Vertical bars represent the standard deviation.

### A gyökérzet alakulása a vizsgált rétegek szerint

A statisztikai elemzés alapján feltártuk, hogy minden kezelésben eltérés tapasztalható a különböző rétegek között. A kezelésekből egységesen a felső vizsgált rétegben (10-30 cm) fejlesztették a növények a legkevesebb gyökeret a legkisebb hosszúsággal (5. ábra A és B). A felső rétegben a legtöbb és legnagyobb teljes hosszal rendelkező gyökérzetet a kontrollban találtuk, amely 88 db gyökeret jelent, amelyek teljes hossza 2825 mm. A teljes vízigény kielégítése mellett fejlődő növények gyökérzete a 30-50 cm-es rétegben volt a legfejlettebb a darabszámot és a hosszúságot tekintve (90 db és 3454 mm hossz), de minden rétegben elmarad az enyhébb és jelentősebb vízhiány mellett fejlődő növények gyökérzetétől. Az I50 kezelésben, enyhe vízhiány mellett a paradicsom gyökérzete egyenletes fejlettséget mutatott a középső és a mély vizsgált rétegben a statisztikai teszt szerint a teljes monitoring időszak átlagát tekintve.

5. ábra. Paradicsom gyökérfejlődése a darabszám (A) és teljes gyökérhossz (B) tekintetében a különböző gyökerezési mélység hatására az eltérő vízellátottságú kezelésekből. Adott kezelésen belül az eltérő betűk statisztikai különbséget jelölnek ( $p < 0,05$  és  $n=9$ ). A hibásávok a szórást jelentik.

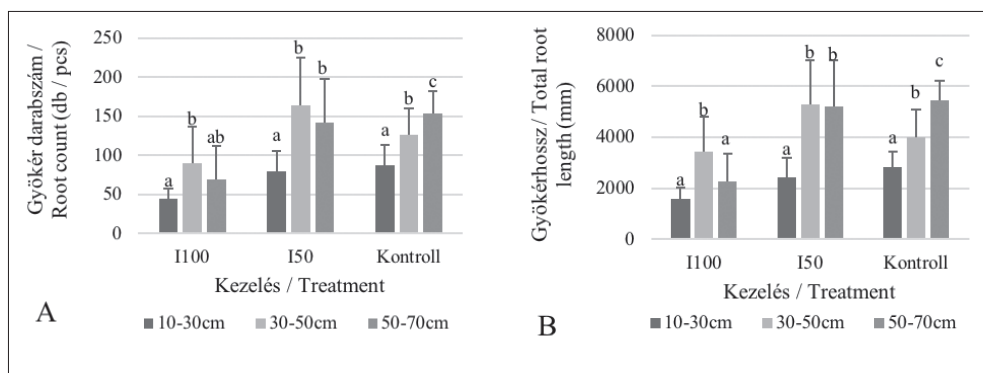


Figure 5. Development of tomato roots regarding the count (A) and total length (B) affected by rooting depth in the treatments with different water supply levels. Within a treatment different letters indicate statistical differences ( $p < 0,05$ ;  $n=9$ ). Error bars represent the standard deviation.

A gyökerezési mélység perspektívájából nézve az adatokat a kontrollban rögzített adatok szerint jelentősebb vízhiány mellett a növények a mélyebb rétegekbe hatolva több és hosszabb gyökeret fejlesztenek, ugyanis a legtöbb és leghosszabb gyökereket az 50-70 cm-es rétegben találtuk az öntözetlen kezelésben (154 db és 5460 mm hossz). A gyökerek számát és hosszát tekintve az I100 és kontroll kezelés között nincs egyértelmű szignifikáns különbség a középső rétegben, hiába magasabb a kontroll gyökérszáma közel 41%-kal. A középső rétegben a legtöbb (164 db) és leghosszabb gyökérzet (5299 mm) az I50 kezelésben fejlődött (6. ábra A és B).



6. ábra. Paradicsom gyökérfejlődése a darabszám (A) és teljes gyökérhossz (B) tekintetében az eltérő vízellátottság hatására a három különböző rétegben. Az eltérő betűk statisztikai különbséget jelölnek ( $p < 0,05$  és  $n=9$ ). A hibásávok a szórást jelentik.

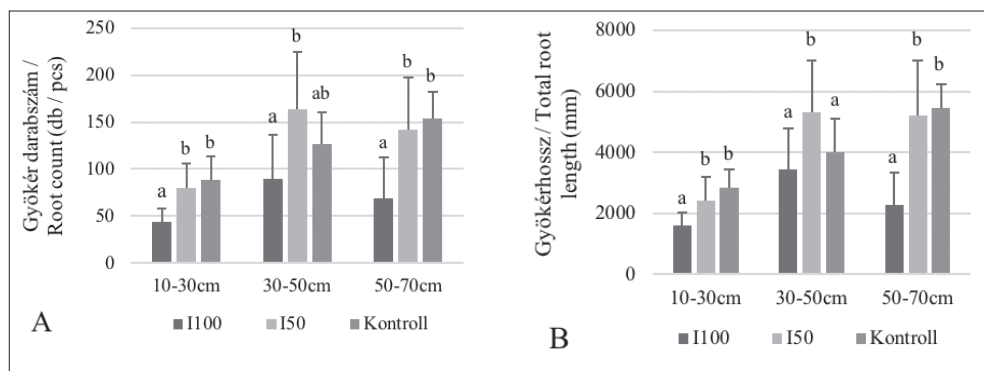


Figure 6. Development of tomato roots regarding the count (A) and total length (B) affected of different water supply levels in the different soil layers. Different letters indicate statistical differences ( $p < 0.05$ ;  $n=9$ ). Error bars represent the standard deviation.

#### A vízellátottsági kezelések rétegenként a teljes vizsgált időperiódusban

A 7. ábra szerint a felső rétegben fejlődött a legkevesebb gyökér vízellátottsági szinttől függetlenül, mindössze az I100 kezelésben előzi meg a legalsó réteget a monitoring időszak legelején. A legmagasabb számot (104 db) a kontroll érte el a július 8-i mérés alkalmával. A monitoring időszak végére az I50 és I100 kezeléseknél egyaránt a 30-50 cm-es rétegben volt a legsűrűbb a gyökérzet. Az öntözetlen kontrollban a legmélyebb réteg a gyökér által leginkább átszított a vizsgálati időszakban. Az ábrákon látható, hogy a teljes öntözés mellett a leggyengébb a fejlődés dinamikája a június 25. – július 8. fejlődési időszakban. Ebben a rövid periódusban az I50 fejlődése a legkiemelkedőbb, ugyanakkor a kontroll alapértékei már magasabbak voltak a vizsgálat kezdetén is. Az enyhe vízhiány mellett július 8-ra kialakuló gyökérhossz szinte stagnál egészen a kísérlet végéig mind a három rétegben. Ebben a kezelésben a gyökerek számának növekedése egészen július végéig folyamatos volt, míg a teljes öntözésben és a kontrollban inkább stagnáltak. A legnagyobb növekedés azonban az 50-70 cm-es rétegben volt megfigyelhető az első két mérési időpont között eltelt egy hétben.

7. ábra. A gyökerek darabszámának (A, C és E) és teljes hosszának (B, D és F) alakulása a különböző mélységeken a vízellátottság hatására

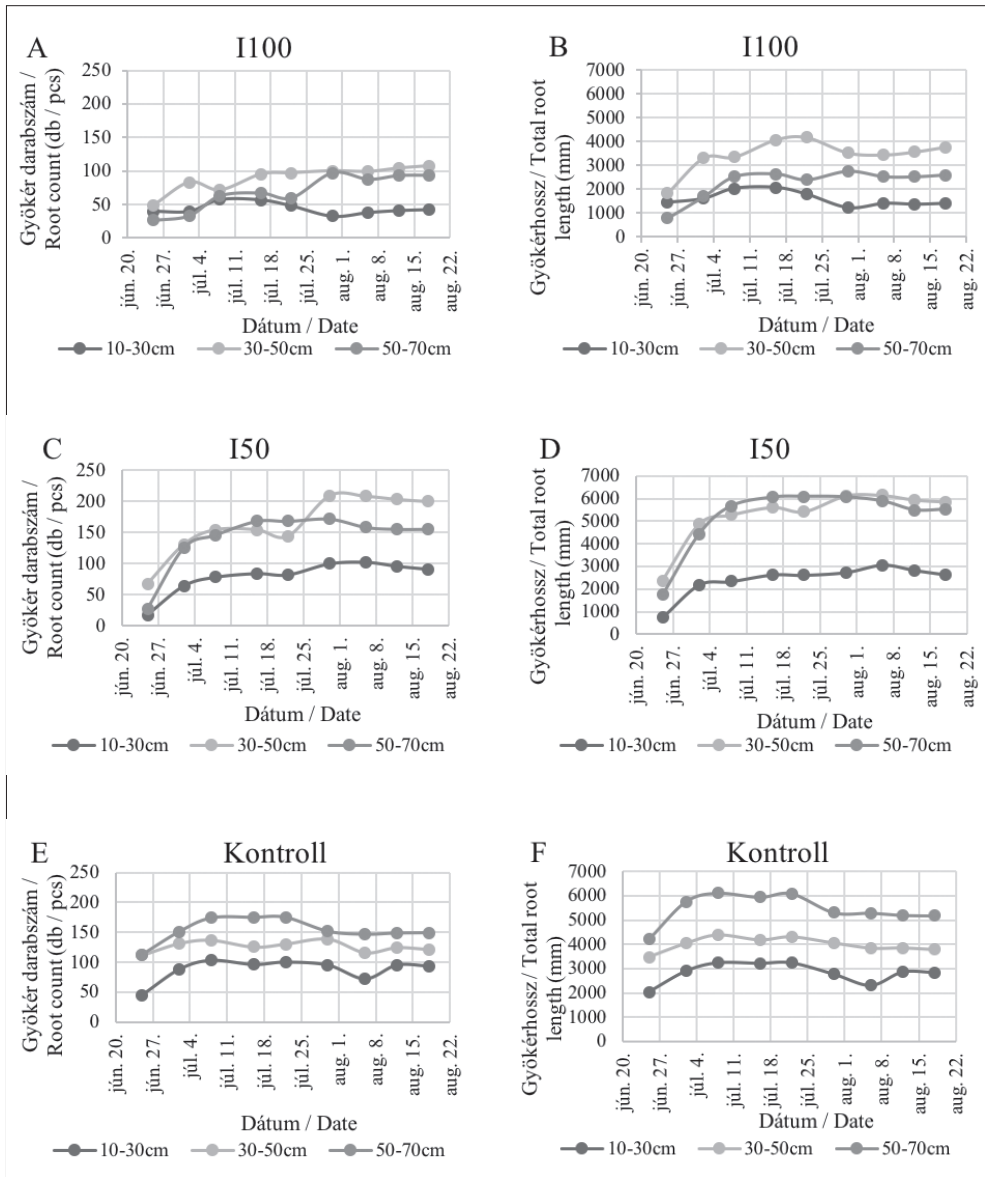


Figure 7. Evolution of root count (A, C and E) and the total root length (B, D and F) in different layers under the different water supply treatments

## Megvitatás

Vízhiány indukálta stresszhelyzetben a növények hosszabb gyökereket fejlesztenek, amellyel elérhetik a talaj mélyebb rétegeit. Ez egyfajta védelmi mechanizmus, ami a szárazabb körülményekhez való adaptációt segíti, hiszen a megnövelt abszorpciós felszín jobb vízfelvételt jelenthet (Jaffe et al. 1985). Több tanulmányban említik a mélyre hatoló gyökérzet jelentőségét a vízfelvételben vízstressz jelenlétében számos növénynél, mint a kukorica (Hammer et al. 2009), a búza (Reynolds et al. 2007) és a rizs (Wasson et al. 2012). Tehát a mélyre hatoló gyökérzet a növénytermesztés és túlélés szempontjából egyaránt hasznos, mivel lehetővé teszi a mélyebb talajrétegekben tárolt nedvességhez való hozzáférhetőséget.

A gyökerek számára és hosszára vonatkozó eredmények egyetértenek Scholander és munkatársai (1965) munkájával, akik szintén megállapították, hogy a vízhiány mélyebbre hatoló gyökérrendszer fejlesztésére ösztönzi a növényeket a potenciálisan nedvesebb mélyebb rétegekhez való hozzáférhetőség érdekében. Ugyanakkor más stratégia szerint a szárazság elkerülését a szövetekben fenntartott magas vízpotenciál segítségével küzdik le bizonyos növényfajok (Chandrakant et al. 2017). Hasonló megállapításokat közölnek a mélyebbre hatoló gyökérzet előnyeiről vízhiányos környezet esetén további tanulmányok is (Comas et al. 2013; Vadez et al. 2013). Ezek egyetértésben vannak az általunk közölt eredményekkel. A paradicsom kiterjedt gyökérzet fejlesztésével és a vízfelvétel hatékonyságának növelésével tarthatja fenn turgorát (Shabbir et al. 2020).

A gyökérnövekedés irányát részben a hidrotropizmus határozza meg, amelynek nagyon fontos szerepe van, különösen az alacsony csapadékkal jellemezhető térségekben (Li et al. 2020). Általában a felső réteg rövid idő alatt kiszárad az evaporációs veszteség miatt. A gravitációs pórusokban a víz a mélyebb rétegekbe szivárog, ahol így kedvezőbb talajnedvesség kondíciók alakulnak ki oda irányítva a növények gyökereit.

A magasabb termés eléréséhez szükséges megfelelő növényi vízállapot könnyebben fenntartható nagyobb gyökértömeg mellett. A gyökérzet felépítésének szerepe a vízfelhasználásban fontos abból a szempontból is, miszerint ez befolyásolhatja a különböző rétegekben tárolt vízmennyiséghez való hozzáférés idejét is (Manschadi et al. 2006).

A gyökerek fenotípus vizsgálata egyre fontosabbá válhat, ahogy az aszályos periódusok gyakoribbá és hosszabbá válnak. A gyökérzet felépítésének kialakulásában jelentős szerepe van a talajnedvességnek is, ugyanakkor a vízhiányos időszakok átvészelésében a gyökérzet szerepe az egyik legnagyobb. Ennek vizsgálatára egyre több lehetőség és módszer áll rendelkezésre (Wasaya et al. 2018).

## Következtetések

A növények különböző részeinek vizsgálati lehetőségei és a hozzá kapcsolódó műszerezettség napról napra bővülnek. A növények gyökereinek megfigyelése általában nagyobb kihívást jelent, mint a talaj feletti részek tanulmányozása szabadföldön termesztett növények esetében, de mára lehetővé vált a gyökér jellemzőinek roncsolásmentes megfigyelése is, így a növények biotikus és abiotikus stresszre adott válaszainak még jobb megértése is kilátásba kerül.

A tanulmányunkban közölt megállapításoknál fontos leszögezni, hogy az alkalmazott vizsgálati eszköz egyik korlátja, hogy csak a monitoring cső fala mellett fejlődő gyökerek vizsgálhatók.

Következtetéseink megállapításánál feltételezzük, hogy minden kezelésben egyenlő arányban lehetnek a gyökérszövet azon részei, amelyek az eszköz érzékelésén kívül fejlődnek, így a kezelések között megállapított különbségek a változó vízellátottságnak tulajdoníthatók.

Jelen munka eredményei igazolják, hogy a paradicsom gyökérszövetének alakulását, a gyökérszövet különböző mélységeiben fejlődő gyökerek számát és hosszúságát befolyásolja az adott réteg nedvességállapota. Az egy tenyészidőszakról rendelkezésre álló eredményeink szerint a paradicsom nagyobb számban és nagyobb teljes hosszúságban fejleszt gyökereket, ha a vízellátottság a növényi potenciális evapotranszpiráció 50%-a vagy nem részesül rendszeres öntözésben, mint a teljes vízigény rendszeres kielégítése mellett. Ugyanakkor, a vízhiányos kezeléseknél a mélyebb talajrétegekben sűrűbb és hosszabb a gyökérszövet. Az első két vizsgálati időpont között eltelt egy hétben tapasztalt nagy ugrás az I50 kezelés gyökérszövetében és -hosszában arra enged következtetni, hogy a paradicsom gyökérszövetének nagyon gyorsan reagál a talajnedvesség változására és ezáltal igyekszik elkerülni a vízhiány negatív következményeit, enyhíteni a vízstressznek való kitettséget. A kontrollban tapasztalható kéthetes periódus csökkenő értékei rámutatnak, hogy a kiszáradó talajban a paradicsom gyökérszövetének is redukálódhat. Az eredmények szerint a gyökérszövet eloszlása nem egységes a 10-70 cm-es rétegben ipari paradicsom esetében.

A paradicsom gyökérszövetének jellemzőiről történt megállapításaink hozzájárulhatnak a termesztéstechnológia fejlesztéséhez, illetve a nemesítők munkájához, hogy a vízhiányos környezethez jobban alkalmazkodó genotípusokat állíthassanak elő.

### Köszönetnyilvánítás

A Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-22-4 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti kutatási, fejlesztési és innovációs alapról finanszírozott szakmai támogatásával készült.

### Irodalomjegyzék

1. Andryei, B., Horváth, K.Z., Agyemang, D.S., Takács, S., Égei, M., Szuvandzsiev, P. and Neményi, A. 2021. Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) in the mitigation of water deficiency of tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.). Journal of Central European Agriculture, 22(1): 167-177.
2. Bakr, J., Pék, Z., Helyes, L. and Posta, K. 2018. Mycorrhizal Inoculation Alleviates Water Deficit Impact on Field-Grown Processing Tomato. Pol. J. Environ. Stud. 27(5): 1949-1958. DOI: 10.15244/pjoes/78624
3. Böcs, A., Pék, Z., Helyes, L., Neményi, A. and Komjáthy, L. 2009. Effect of water supply on canopy temperature and yield of processing tomato. Cereal Research Communications, 37 supplement pp. 113-116.
4. Böcs, A., Pék, Z. and Helyes L. 2010. A vízellátottság hatása az ipari paradicsom sztómakonduktanciájára, levélfelület-hőmérsékletére és termésmennyiségére. Kertgazdaság, 42(1): 3-9.
5. Chandrakant, S., Poornima, R. and Rajkumar, B. 2017. Genetic Engineering for Drought Resistance in Rice. Agricultural Research and Technology, 11: 555824, doi:10.19080/ARTOAJ.2017.11.555824.
6. Comas, L.H., Becker, S.R., Cruz, V.M.V., Byrne, P.F. and Dierig, D.A. 2013. Root traits contributing to plant productivity under drought. Frontiers in Plant Science, 4: 442, doi:10.3389/FPLS.2013.00442/BIBTEX.

7. Cui, J., Shao, G., Lu, J., Keabetswe, L. and Hoogenboom, G. 2020. Yield, quality and drought sensitivity of tomato to water deficit during different growth stages. *Scientia Agricola*, 77(2), doi:10.1590/1678-992x-2018-0390.
8. De Wrachien, D., Schultz, B. and Goli, M.B. 2021. Impacts of population growth and climate change on food production and irrigation and drainage needs: A world-wide view. *Irrigation and Drainage*, 70(5): 981–995, doi:10.1002/ird.2597.
9. FAO. 2021a. Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at breaking point. Synthesis report.
10. FAO. 2021b. Production: Crops and livestock products. In: FAO. Rome. Cited March 2022. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
11. Ge, J., Gong, X., Liu, Y., Chen, H., Sun, H., Traore, S. and Zhang, L. 2022. The potential effects of drip irrigation on soil environment, root distribution and yield of greenhouse tomato. *European Journal of Horticultural Science*, 87(1): 1-12, doi:10.17660/eJHS.2022/009.
12. Hammer, G.L., Dong, Z., McLean, G., Doherty, A., Messina, C., Schussler, J., Zinselmeier, C., Paszkiewicz, S. and Cooper, M. 2009. Can Changes in Canopy and/or Root System Architecture Explain Historical Maize Yield Trends in the U.S. Corn Belt? *Crop Science*, 49(1): 299–312, doi:10.2135/CROPSCI2008.03.0152.
13. Helyes L., Böcs A. és Nemeskéri E. 2018. Víztakarékos öntözés hatása az ipari paradicsom termésmennyiségére és minőségére. *Kertgazdaság*, 50(4): 3-9.
14. Jaffe, M.J., Takahashi, H. and Biro, R.L. 1985. A Pea Mutant for the Study of Hydrotropism in Roots. *Science*, 230(4724): 445–447, doi:10.1126/SCIENCE.230.4724.445.
15. Le, A.T., Pék, Z., Takács, S., Neményi, A. and Helyes, L. 2018. The effect of plant growth-promoting rhizobacteria on yield, water use efficiency and Brix Degree of processing tomato. *Plant Soil Environ.* 64(11): 523–529. <https://doi.org/10.17221/818/2017-PSE>
16. Li, Y., Yuan, W., Li, L., Dai, H., Dang, X., Miao, R., Baluška, F., Kronzucker, H.J., Lu, C., Zhang, J. and Xu, W. 2020. Comparative analysis reveals gravity is involved in the MIZ1-regulated root hydrotropism. *Journal of Experimental Botany*, 71(2): 7316–7330, doi:10.1093/jxb/eraa409.
17. Machado, R.M.A. and Oliveira, M.D.R.G. 2003. Comparison of tomato root distributions by minirhizotron and destructive sampling. *Plant and Soil*, 255: 375–385. doi:10.1023/A:1026198919074.
18. Machado, R.M.A. and Oliveira, M.D.R.G. 2005. Tomato root distribution, yield and fruit quality under different subsurface drip irrigation regimes and depths. *Irrigation Science*, 24: 15–24, doi:10.1007/s00271-005-0002-z.
19. Manschadi, A.M., Christopher, J., deVoil, P., Hammer, G.L., Manschadi, A.M., Christopher, J., deVoil, P. and Hammer, G.L. 2006. The role of root architectural traits in adaptation of wheat to water-limited environments. *Functional Plant Biology*, 33(9): 823–837, doi:10.1071/FP06055.
20. Nemeskéri, E., Molnár, K., Pék, Z. and Helyes, L. 2018. Effect of water supply on the water use-related physiological traits and yield of snap beans in dry seasons. *Irrigation Science*, 36(3): 143-158. <https://doi.org/10.1007/s00271-018-0571-2>
21. Nemeskéri, E., Neményi, A., Böcs, A., Pék, Z. and Helyes, L. 2019. Physiological Factors and their Relationship with the Productivity of Processing Tomato under Different Water Supplies. *Water*, 11(3): 586
22. Nemeskéri, E. and Helyes, L. 2019. Physiological Responses of Selected Vegetable Crop Species to Water Stress. *Agronomy*, 9(8): 447. <https://doi.org/10.3390/agronomy9080447>
23. Nemeskéri, E., Horváth, K.Z., Andryei, B., Ilahy, R., Takács, S., Neményi, A., Pék, Z. and Helyes, L. 2022. Impact of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Inoculation on the Physiological Response and Productivity Traits of Field-Grown Tomatoes in Hungary. *Horticulturae*, 8(7): 641. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070641>
24. Patanè, C., Corinzia, S.A., Testa, G., Scordia, D. and Cosentino, S.L. 2020. Physiological and agronomic responses of processing tomatoes to deficit irrigation at critical stages in a semi-arid environment. *Agronomy*, 10(6): 800, doi:10.3390/agronomy10060800.

25. Patanè, C., Siah, S., Pellegrino, A., Cosentino, S.L. and Siracusa, L. 2021. Fruit Yield, Polyphenols, and Carotenoids in Long Shelf-Life Tomatoes in Response to Drought Stress and Rewatering. *Agronomy*, 11(10): 1943, doi:10.3390/agronomy11101943.
26. Reynolds, M., Dreccer, F. and Trethowan, R. 2007. Drought-adaptive traits derived from wheat wild relatives and landraces. *Journal of Experimental Botany*, 58(2): 177–186, doi:10.1093/JXB/ERL250.
27. Scholander, P.F., Hammel, H.T., Bradstreet, E.D. and Hemmingsen, E.A. 1965. Sap Pressure in Vascular Plants. *Science*. 148(3668): 339–346, doi:10.1126/SCIENCE.148.3668.339.
28. Shabbir, A., Mao, H., Ullah, I., Buttar, N.A., Ajmal, M. and Solangi, K.A. 2020. Improving water use efficiency by optimizing the root distribution patterns under varying drip emitter density and drought stress for cherry tomato. *Agronomy*, 11(1): 3, doi:10.3390/agronomy11010003.
29. Takács, S. and Bíró, T. 2022. Two seasons of deficit irrigation of processing tomato in Hungary. *Acta Hort.* 1335: 657-664. DOI: 10.17660/ActaHortic.2022.1335.83 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1335.83>
30. Takács, S., Csengeri, E., Pék, Z., Bíró, T., Szuvandzsiev, P., Palotás, G. and Helyes, L. 2021. Performance evaluation of AquaCrop model in processing tomato. *Water*, 13(24): 3587, doi:10.3390/w13243587.
31. Tardieu, F., Simonneau, T. and Muller, B. 2018. The Physiological Basis of Drought Tolerance in Crop Plants: A Scenario-Dependent Probabilistic Approach. *Annual Review of Plant Biology*, 69: 733–759, doi:10.1146/annurev-arplant-042817-040218.
32. Vadez, V., Rao, J.S., Bhatnagar-Mathur, P. and Sharma, K.K. 2013. DREB1A promotes root development in deep soil layers and increases water extraction under water stress in groundnut. *Plant Biology*, 15(1): 45–52, doi:10.1111/J.1438-8677.2012.00588.X.
33. Wasaya, A., Zhang, X., Fang, Q. and Yan, Z. 2018. Root Phenotyping for Drought Tolerance: A Review. *Agronomy*, 8(11): 241, doi:10.3390/AGRONOMY8110241.
34. Wasson, A.P., Richards, R.A., Chatrath, R., Misra, S.C., Prasad, S.V.S., Rebetzke, G.J., Kirkegaard, J.A., Christopher, J. and Watt, M. 2012. Traits and selection strategies to improve root systems and water uptake in water-limited wheat crops. *Journal of Experimental Botany*, 63(9): 3485–3498, doi:10.1093/JXB/ERS111.
35. Yu, G.R., Zhuang, J., Nakayama, K. and Jin, Y. 2007. Root water uptake and profile soil water as affected by vertical root distribution. *Plant Ecology*, 189: 15–30. doi:10.1007/S11258-006-9163-Y.

## **Effect of different water supply levels on the number and length of processing tomato roots**

M'HAMDI, O., ÉGEI, M., PÉK, Z., TAKÁCS, S.

Hungarian University of Agriculture and Life Sciences,  
Institute of Horticultural Sciences, Gödöllő

E-mail: takacs.sandor@uni-mate.hu

### **Summary**

Due to the high demand on fresh water and the rapid decreasing of its availability, maintaining crop yields while optimizing water use is an urgent matter. Therefore, understanding how plants react to different water supply levels is critical to establish effective water use practices. Roots

have significant role in the adaptation to water deficient conditions since they are responsible for the most water uptake. This work focuses on evaluating the effect of 3 different water supply levels (100%, 50% of crop evapotranspiration, and a non-irrigated control) on the number and length of tomato roots. Images of the roots were taken weekly during an 8-week monitoring period, using a non-destructive root scanning method (CI-600 in-situ root imager) in the 10-70 cm depth. Results showed that tomato plants developed more roots with more total length when they received 50% of the potential evapotranspiration and when there was no regular irrigation applied (4313 and 4094 mm respectively, compared to 2280 mm at the 100% treatment). At the same time roots under these treatments got denser and longer and reached deeper soil layers. This data may be used in breeding as selection method to have cultivars that adapt more effectively to water deficient conditions, or in the development of the growing technology, or finding the optimal irrigation schedule for processing tomato.

**Keywords:** root scanner, irrigation, water stress, root length, root depth

**Szerzők:**

Oussama M'hamdi – PhD hallgató, Növénytudományi Doktori Iskola, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

Égei Márton – tudományos segédmunkatárs, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Kertészettudományi Intézet, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

Pék Zoltán – PhD, egyetemi tanár, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Kertészettudományi Intézet, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

Takács Sándor (kapcsolattartó szerző) – PhD, tudományos munkatárs, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Kertészettudományi Intézet, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.