

Paradicsom levélspektrum vizsgálatának eredményei a vízellátottság tükrében

CZINKOCZKI ENIKŐ, ÉGEI MÁRTON, TAKÁCS SÁNDOR

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Kertészettudományi Intézet, Gödöllő

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

Összefoglaló

Az ipari paradicsom termesztése évről-évre növekvő tendenciát mutat és további növekedés várható a népességyarapodás, valamint az emberi szervezetre gyakorolt jótékony hatása miatt, ami az egészségtudatos életmód terjedésével bekerült a köztudatban. A gazdaságos termesztés azonban öntözés nélkül nem kivitelezhető, azonban szükségszerű olyan módszerek alkalmazása, amellyel a termésmennyiség mellett a termés minőségét is optimalizálhatjuk. Napjainkban egyre nagyobb teret hódít a precíziós öntözés, melynek elengedhetetlen alappillére a növények vízállapotának monitorozása, vagyis vízellátottságának folyamatos nyomon követése.

Az általunk beállított négy különböző öntözővíz ellátási kezelés (K- kontroll, V50 – 50% V75 – 75%, V100 – 100%) növényi vízállapotra gyakorolt hatásait követtük nyomon spektrális módszerekkel a tenészedőszak során. A SPAD mellett, a többi forgalomban lévő eszközhöz hasonló mérési tartománnyal jellemezhető, vagyis látható és közeli infravörös tartományokban érzékeny (325 – 1075nm) FielSpec HandHeld 2 spektrométert használtuk. A mérések során a SPAD klorofill-mérő műszer megfelelőnek bizonyult az öntözetlen és öntözött kezelések elkülönítésre, azonban az eltérő vízellátottsági szintek elkülönítésére nem megbízható módszer. A spektrométer által mért hullámhossztartományban detektálható reflektancia adatokból számítható vegetációs indexek közül két index bizonyult alkalmasnak a vízstressz tüneteinek kimutatására. Az mNDVI és a CI_{green} indexek által több esetben szignifikánsan elkülöníthetőek voltak az eltérő vízellátottsági szintek. A megfelelő határértékek vizsgálatához javasoljuk tartósan aszályos időszakban lefolytatni hasonló kísérletet, amikor jelentősebb különbségek indukálhatók a vízellátottsági kezelésekek között.

Kulcsszavak: spektrum, NDVI, vegetációs index, öntözés, vízstressz, SPAD

Bevezetés és irodalmi áttekintés

A paradicsom a legfontosabb termesztett zöldségnövényeink közé tartozik. Termesztése évről-évre növekszik. A világ minden táján fogyasztják frissen és feldolgozott formában egyaránt. Táplálkozáselettani jelentősége megkérdőjelezhetetlen, ami nagyrészt az antioxidáns, egészségünkre jótékony hatású vegyületeknek köszönhető. Számos vizsgálat bizonyítja preventív hatásukat a kardiovaszkuláris és daganatos megbetegedések esetében (Giovannucci et al. 2002; Lugasi et al. 2004).

Hazánk éghajlatát tekintve, a paradicsom öntözés nélkül eredményesen nem termesztendő, ami a klímaváltozás várható hatásait tekintve egyre fontosabbá válik (Takács és Bíró 2022). Egyre jelentősebb a különböző deficit öntözési módszerek alkalmazása, amelyek jellemzően jobb vízfelhasználási hatékonyságot, jelentős öntözővíz megtakarítást és esetenként jobb termésminőséget is eredményeznek, ugyanakkor a megtermelt biomassza csökkenésével járnak (Helyes et al. 1999; Kirda 2002; Le et al. 2018; Nemeskéri et al. 2019; Takács et al. 2020). A precíziós mezőgazdaság térnyerésével a precíziós vízellátás is egyre nagyobb szerephez jut (Szabó et al. 2023). A helyspecifikus, precíziós öntözőberendezések alkalmazása esetén szükségszerű az aktuális növényi vízállapot követése, mivel minden esetben a többletvíz öntözésének elkerülésére és a termés potenciál minél jobb kihasználására kell törekednünk. Emellett nagyon fontos a magas vízfelhasználási hatékonyság is (Bakr et al. 2018; Nemeskéri et al. 2018). Kizárólag a jó minőségű és a profitabilitást biztosító termés eléréséhez szükséges vízmennyiség kiadagolása kívánatos. Azonban ehhez szükséges, hogy a vízhiány még szabad szemmel nem látható jeleit minél hamarabb észleljük. Napjainkban erre számos törekvés van, ilyenek például a drónokkal, műholdakkal vagy kézi eszközökkel végezhető hőkamerás vizsgálatok, spektrális felmérések (Alordzinu et al. 2021a; Alordzinu et al. 2021b). A gazdálkodók számára jól használható, gyors és olcsó módszer, amely a gyakorlatban könnyen alkalmazható, még nem terjedt el.

Jelen tanulmányban ipari paradicsom leveleinek reflektancia adataiból számítható vegetációs indexek alkalmazhatóságát vizsgáljuk a növényi vízállapot értékelésére.

Anyag és módszer

Kísérletünket a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Kertészeti Tanüzemében állítottuk be Gödöllőn 2021-ben, amelyben a H1015 paradicsom hibridet alkalmaztuk és vizsgáltuk (Pomodoro-AGRO Kft, Mezőberény). A fajta jellemzően közepes termetű, szétterülő növény, amely kiválóan védi és fedi a termést betakarításig. Tenyészideje közepes, átlagosan 114 nap. A bogyója ovális alakú, tömege 75-80 gramm közötti, kemény és vastag héjú, ennek köszönhetően kiváló gépi betakarításra is. A Brix^o várhatóan 5,2 körül alakul betakarításkor.

A kiültetésre május 13-án, a betakarításra augusztus 31-én került sor. Kiültetéskor a szimpla sorok távolsága 140 cm, a tőtávolság 20 cm volt, amely 3,57 tő m² növényesűrűséget jelent. A növényállomány vízellátását a kísérlet során csepegtető öntözéssel oldottuk meg (Irritec S.p.A., Rocca di Caprileone, Italy). A vízstressz hatását különböző vízellátottsági szinteken figyeltük meg. Négy kezelést négy ismétlésben állítottuk be (1. ábra). A kontroll (K) esetében a növényzet vízellátását természetes csapadék biztosította, melyet mindössze a - minden kezelésben egységes - tápoldatozás

egészített ki, tehát ebben a kezelésben jelentős stresszhatás kialakulását vártuk. A V50 és V75 kezelések, közepes és gyenge vízhiányból eredő stresszhatást gyakoroltak a növényekre az öntözési időszakban, amelyek az öntözővíz 50, illetve 75%-át kapták a V100-hoz képest. A V100 kezelés, az optimális vízszükséglet 100%-át jelentette, melyet az AquaCrop modell (AquaCrop Core Group, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome) segítségével határoztunk meg és a 35 cm mélységben mért talajnedvesség adatokkal ellenőriztünk és követtünk nyomon egy Acclima True TDR 315L talajnedvességmérő szenzor által mért adatok alapján (Acclima, Inc., Meridian, Idaho, USA). A meteorológiai adatok a tanüzemben található meteorológiai állomás méréseiből származtak (Davis Instruments Corporation, Hayward, CA, USA).

1. ábra. A beállított kísérlet sematikus ábrázolása. A 4 vízellátottsági szint 4 ismétlésben került beállításra

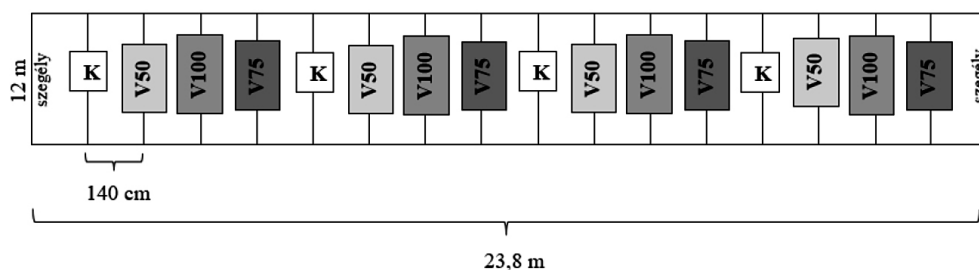


Figure 1. Experimental layout. The 4 water supply levels in 4 replications

A csepegtető öntözés során a különböző vízellátottsági kezeléseknél eltérő osztású csövek alkalmazása volt szükséges a kívánt öntözővízmennyiségek kijuttatásához. A V50 kezelésben egy 15 cm-es kiosztású csepegtető szalagot helyeztünk el, amellyel 5,3 l/h/m vízmennyiséget tudunk kijuttatni. A V100 esetében 10 cm-es osztású csepegtető szalagot alkalmaztunk, melynek vízkijuttatása 10,6 l/h/m. A V75 beállításnál két 20 cm-es osztású csepegtető szalagot kellett leraknunk, annak érdekében, hogy a 100%-os kezelésben kijuttatott vízmennyiség 75%-át kapjuk ($2 \times 4 = 8$ l/h/m).

A komplex tápoldat kiadagolása mindegyik kezelésben egységesen 10 cm-es osztású csepegtető szalagokkal történt, külön körön, a növények megfelelő növekedése és a minden kezelésben egységes tápanyagellátás érdekében. A teljes tenyészidőszakra vetítve összesen 148,3 kg ha⁻¹ N, 67 kg ha⁻¹ P₂O₅, 120,54 kg ha⁻¹ K₂O, és 90,8 kg ha⁻¹ CaO került kijuttatásra.

A spektrális méréseket a tenyészidőszak során két eszközzel végeztük heti rendszerességgel. A mérésekre június 24-től augusztus 24-ig került sor, összesen 10 alkalommal. Mindkét mérőeszköz esetében ismétlésenként 5-5 levelet választottunk ki random módon, tehát minden kezelésben 20-20 adatfelvétel történt mérési alkalmanként, levelenként 1 mért értékkel. A SPAD 502 Plus Chlorofill Meter egy hordozható kis kézi műszer, amely a vizsgált növény szabad szemmel nem látható sejtszintű működéséről ad információt, és utal a levél relatív klorofill tartalmára (Konica Minolta, Inc, Tokió, Japán).

Az ASD (American Spectral Devices) FieldSpec HandHeld 2™ spektrométer, egy hiperspektrális műszer, mellyel 325-1075 nanométeres hullámhossztartományban mértük a levelek reflektanciáját, ± 1 nanométeres pontossággal. Ez a hullámhossz tartomány az ultraibolya tartomány egy keskeny részét, a látható fény teljes, illetve a közeli infravörös egy szeletét fedi le. A mért spektrum alkalmas több, a növények fiziológiai állapotára reflektáló vegetációs index számítására. A terepi használhatóságát fokozza, hogy egy levél klipsz csatlakoztatható a spektrométerhez, mely biztosítja a kontakt méréseket így minimálisra redukálva a környezet esetleges zavaró hatását. A műszer egy nagy intenzitású dióddal ellátott, önálló fényforrással rendelkező 20 milliméter pontátmérőjű szondával van ellátva. A műszer így lehetővé teszi a roncsolásmentes mérést. További előnye a szondára rögzíthető forgatható fej, melynek mindkét oldalán beágyazott háttérpanel van, a fekete panel reflexiós, a fehér transzmissziós mérésekre, illetve kalibrációra alkalmas. A kísérlet során a műszer által mért hullámhossztartományban detektálható hét spektrális vegetációs index (1. táblázat) került értékelésre. A SPAD és az ASD műszerek esetében is teljesen kifejlett, napfénynek kitett, egészséges levelet választottunk ki. A kezelések közötti különbségek kimutatására egytényezős varianciaanalízist és Tukey post-hoc tesztet alkalmaztunk.

1. táblázat. A kísérlet során alkalmazott vegetációs indexek és kiszámítási képletük (Alordzinu et al. 2021)

Klorofillal összefüggő indexek		
NDVI	Normalized difference vegetation index	$\frac{(R_{800} - R_{670})}{(R_{800} + R_{670})}$
mNDVI	Modified normalized difference vegetation index	$\frac{(R_{750} - R_{705})}{(R_{750} + R_{705} - 2 \times R_{455})}$
RDVI	Renormalized difference vegetative index	$\frac{(R_{800} - R_{670})}{(R_{800} + R_{670})^{0.5}}$
CL _{green}	Green chlorophyll index	$\frac{R_{750}}{R_{550}} - 1$
Víz tartalommal kapcsolatos indexek		
WI	Water index	$\frac{R_{900}}{R_{970}}$
Fotokémiai reflexiós indexek		
PRI	Photochemical reflective index	$\frac{(R_{570} - R_{531})}{(R_{570} + R_{531})}$
PRI _{norm}	Normalized photochemical reflective index	$\frac{PRI}{(RDVI * (\frac{R_{700}}{R_{670}}))}$

Table 1. The evaluated vegetation indices and their formulas

Eredmények

Klimatikus tényezők és az öntözés

A tenyészidőszak időjárása viszonylag szélsőséges volt (2. ábra). A kiültetés, illetve az utána következő időszak hűvös és csapadékos volt, amely miatt az öntözési kezelés beállítása a tervezettnél később indulhatott. Ez az időjárás a május közepétől június első dekádjáig tartó időszakra volt jellemző. Ezt követően érkezett a nyári meleg, a tenyészidőszakban a maximum hőmérséklet 32 alkalommal volt 30 °C felett, amelyből két napon, június 24-én és július 8-án 35 °C fölé emelkedett a nappali hőmérséklet (36,3 °C, 37 °C). E meleg napok legfőképp június harmadik dekádjától július végig voltak jellemzőek, amely időszak egybeesik a virágzás fázisával. Ebben a periódusban a legérzékenyebb az ipari paradicsom a vízhiányra.

2. ábra. A tenyészidőszakban mért meteorológiai adatok és a vízellátottság változása a kezeléseken

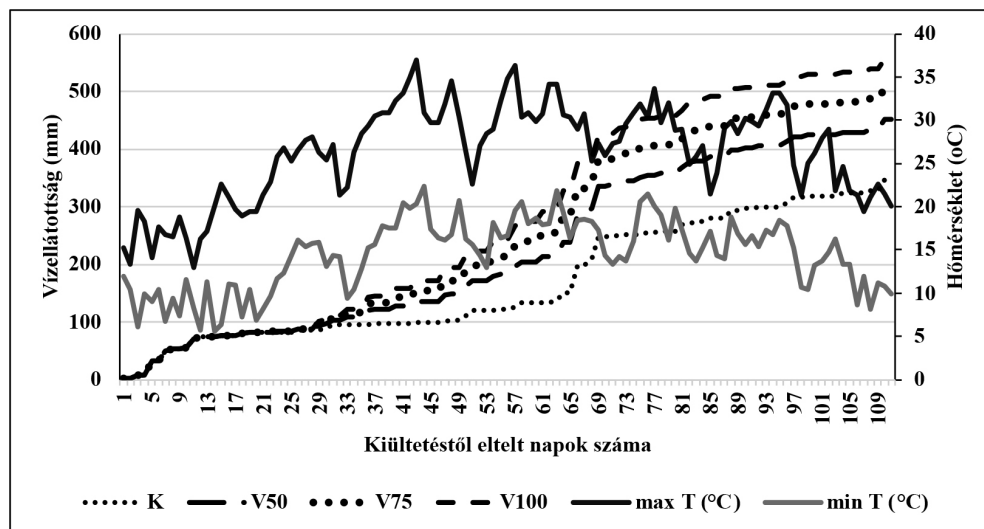


Figure 2. Temperature data and the accumulated water supply

A teljes tenyészidőszakban 284 mm csapadék hullott. Július hónapban összesen 125 mm, melynek nagy része, 104 mm, július 15. és 20. között esett, ezen időszakban két alkalommal is volt kimagaslóan nagy mennyiségű (35mm, 45mm) csapadék. A szabadföldi vízkapacitás közelében tartott talajnedvesség, korlátozta a nagy mennyiségű csapadék gyökérszónában való megtartását, illetve a csapadék magas intenzitása is korlátozta a hasznosulást (3. ábra). Az AquaCrop modell 15 mm felszíni elfolyást és 126 mm mélybeszivárgást számított ki a teljes tenyészidőszakban a szimuláció során. Az átlagos relatív páratartalom a szezonban 70% volt.

A tenyészidőszak során a kezeléseknek megfelelően elkülönültek a vízellátottsági szintek, elsősorban a június közepe és július közepe közötti 1 hónapban a talajnedvesség alapján (3. ábra). A szezon folyamán a legkisebb értékeket az elvárásnak megfelelően az öntözetlen kontroll beállítás mutatta, melynek vízellátását a természetes csapadék és a tápoldatozással járó minimális vízmennyiségek biztosították.

A 35 cm mélységben elhelyezett talajnedvességmérő által közölt adatok a kezelésekben kiadagolt öntözővíz mennyiségeknek megfelelően alakultak és elkülönültek egymástól (3. ábra). Az öntözési idény során végig megfigyelhető, hogy a V75 és V100 talajnedvességszintjei alig különböztek. A négy beállítás közti különbség a július 15. és 20. közötti időszakban leesett 104 mm következményeként kiegyenlítődött. Az öntözés felfüggesztését követően (augusztus 2.) a talajnedvesség minden kezelésben csökkent.

3. ábra. Talajnedvesség alakulása 35 cm mélységben

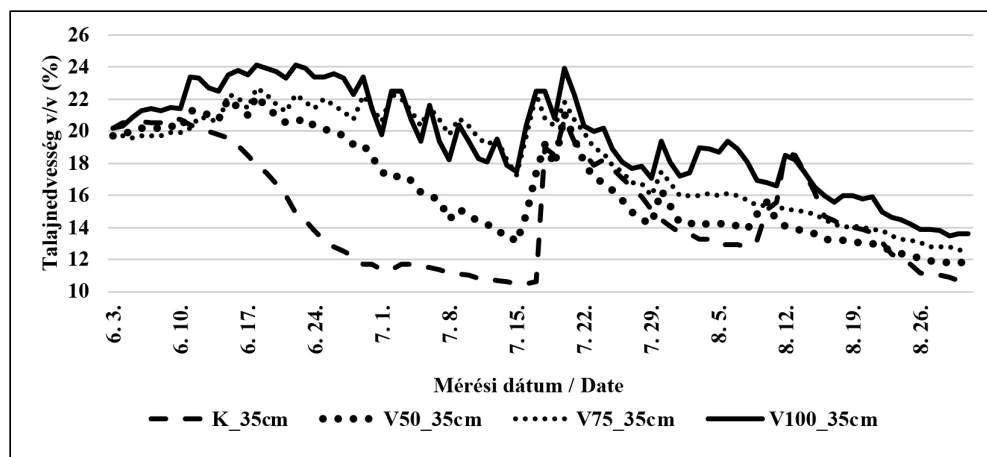
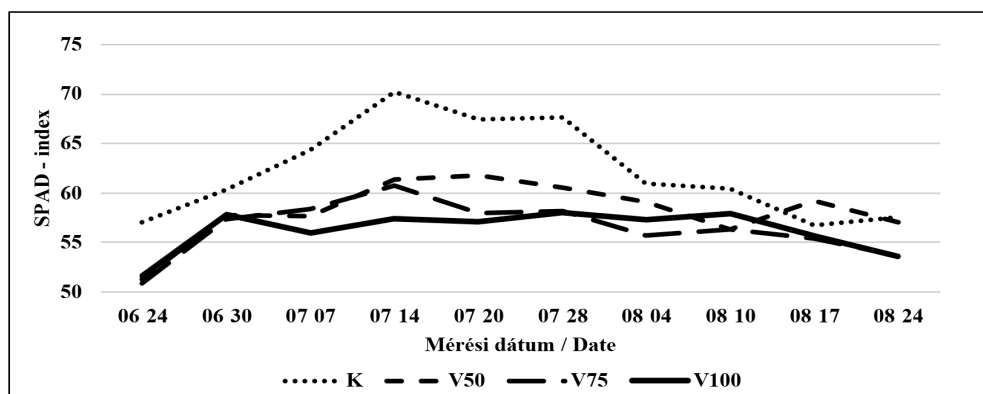


Figure 3. Soil moisture measured at 35 cm depth

Az első (június 24.), illetve a július 07. és július 28. közötti mérések során (4. ábra) eltérés mutatkozott az öntözetlen kontroll és az öntözött állományok relatív klorofilltartalma között, bár az öntözési kezelések (V50, V75, V100) között nem lehetett különbséget tenni a SPAD adatok alapján. A július 14-i és július 20-i mérések alkalmával a 0%, 50% és 100%-os vízellátottságú kezelések teljesen elkülöníthetők voltak egymástól, azonban a V75 beállítás nem különbözött sem a V50-tól, sem a V100-tól szignifikánsan. A többi alkalommal nem mutatkozott eltérés a beállítások között, amely leginkább az öntözés befejezését követő időszakra korlátozódik. A grafikonon jól látható csökkenő tendencia mutatkozik a SPAD értékekben (4. ábra). A mérések átlagát tekintve a K és V50 elkülönült egymástól, illetve a másik két kezeléstől, azonban a V75 és V100 között nem volt szignifikáns mértékű eltérés. Az eszköz a mérési időszak első felében jól el tudta különíteni az öntözött és öntözetlen állományokat a relatív klorofilltartalom alapján, azonban a vízellátottsági szintek között csak két alkalommal tudott különbséget tenni.

4. ábra. SPAD mérések átlagai a tenyészidőszakban az ANOVA és a Tukey-teszt eredményeivel. Az eltérő betűk szignifikáns különbséget jelentenek ($p < 0,05$).

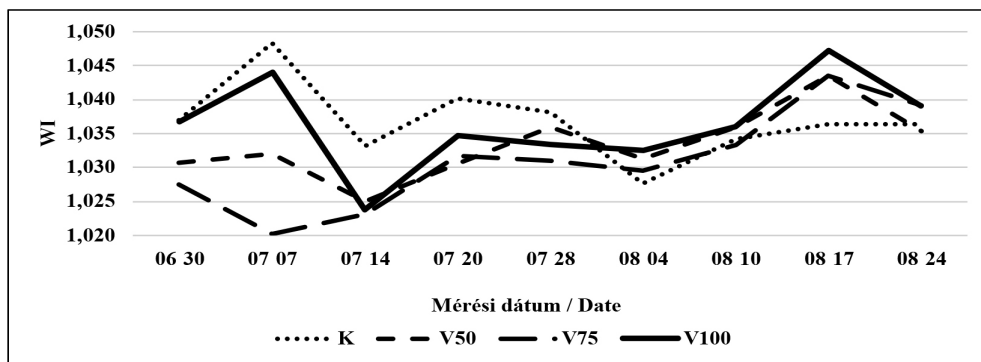


	06.24	06.30	07.07	07.14	07.20	07.28	08.04	08.10	08.17	08.24	átlag
ANOVA	<0,001	0,213	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0605	0,19	0,0919	0,221	<0,001
Tukey HSD											
K	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
V50	b	a	b	b	b	b	a	a	a	a	b
V75	b	a	b	bc	bc	b	a	a	a	a	c
V100	b	a	b	c	c	b	a	a	a	a	c

Figure 4. Means of SPAD measurements during the growing season with the results of ANOVA and Tukey-test. Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$).

A WI (5. ábra) esetében az első két mérés során tapasztaltunk egyértelmű statisztikai különbséget, mindkét esetben a K és V75 kezelések között. A július 20-i időpontban a kontroll és V50 kezelés mutatott eltérést, azonban a másik két öntözési beállítást nem különíthetjük el az előzőektől. Az augusztus 17-i méréskor volt különbség a K és az öntözött kezelések között, azonban fordított irányban. A Tukey teszt által feltárt különbségek nem magyarázhatók a különböző vízellátottsági szintekkel, hiszen azok iránya nem követi a növekvő vagy csökkenő öntözővíz mennyiségeket. A kísérletben kapott értékek nem követik a vízellátottsági szinteket megfelelően, melyet főként az első két mérési alkalomkor a V100 kezelésben számított magas értékek torzírtanak.

5. ábra. WI alakulása a tenyészidőszakban az ANOVA és a Tukey-teszt eredményeivel. Az eltérő betűk szignifikáns különbséget jelentenek ($p < 0,05$).

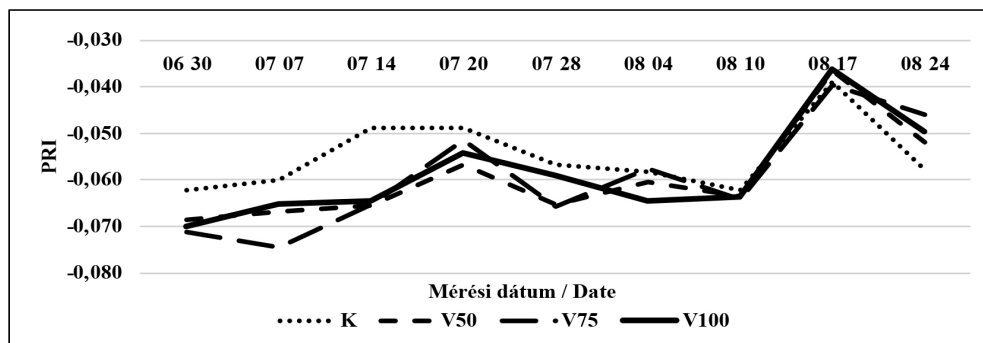


	06.30	07.07	07.14	07.20	07.28	08.04	08.10	08.17	08.24	átlag
ANOVA	<0,001	<0,001	0,09	<0,05	0,302	0,494	0,932	0,001	0,532	<0,05
Tukey HSD										
K	a	a	a	a	a	a	a	b	a	a
V50	bc	bc	a	b	a	a	a	a	a	ab
V75	c	c	a	ab	a	a	a	a	a	b
V100	ab	a	a	ab	a	a	a	a	a	ab

Figure 5. Means of WI measurements during the growing season with the results of ANOVA and Tukey-test. Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$).

PRI értékei magasabbak, ahogy a vízhiány emelkedik, míg a jó vízellátottságú levelek alacsonyabb értékeket mutatnak. A PRI index (6. ábra) két alkalommal mutatott különbséget. A július 7-i mérés során a K és V75 kezelések között tapasztaltunk eltérést. A másik mérés a július 14-i, amikor szignifikáns különbség figyelhető meg az öntözött, valamint az öntöztelen állományok között. Ebben az esetben a különbség magyarázható a vízellátottsággal, azonban az index érzékenysége nem kielégítő, mivel a tenyészidőszak további szakaszában nem volt eltérés.

6. ábra. PRI alakulása a tenyészidőszakban és az ANOVA és Tukey-teszt eredményeivel. Az eltérő betűk szignifikáns különbséget jelentenek ($p < 0,05$).

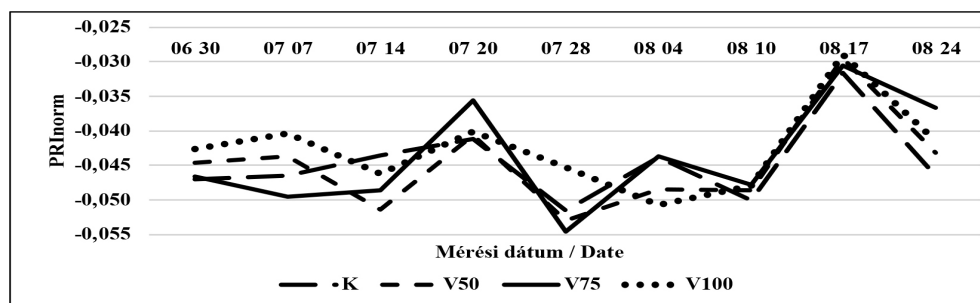


	06.30	07.07	07.14	07.20	07.28	08.04	08.10	08.17	08.24	átlag
ANOVA	0,099	<0,05	<0,001	0,101	0,137	0,379	0,987	0,863	<0,05	<0,05
Tukey HSD										
K	a	a	a	a	a	a	a	a	b	a
V50	a	ab	b	a	a	a	a	a	ab	a
V75	a	b	b	a	a	a	a	a	a	a
V100	a	ab	b	a	a	a	a	a	ab	a

Figure 6. Means of PRI measurements during the growing season with the results of ANOVA and Tukey-test. Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$).

A PRI_{norm} index esetén (7. ábra) az ANOVA és Tukey-teszt egyik mérés alkalmával sem mutatott egyértelmű és vízellátottsági szintekkel magyarázható eltérést a különböző beállítások között. A grafikonon is látható, hogy a tenyészidőszak egészében együtt mozogtak a négy kezelés átlagai -0,055 és -0,03 értékek között.

7. ábra. PRI_{norm} alakulása a tenyészidőszakban és az ANOVA és Tukey-teszt eredményeivel. Az eltérő betűk szignifikáns különbséget jelentenek ($p < 0,05$).

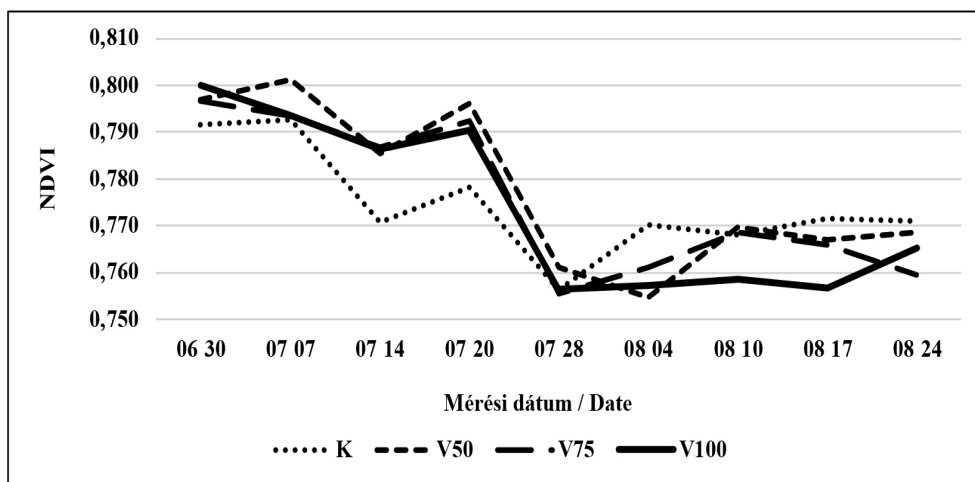


	06.30	07.07	07.14	07.20	07.28	08.04	08.10	08.17	08.24	átlag
ANOVA	0,398	<0,05	0,191	0,179	0,111	0,166	0,97	0,912	<0,05	0,442
Tukey HSD										
K	a	ab	a	a	a	a	a	a	b	a
V50	a	ab	a	a	a	a	a	a	ab	a
V75	a	b	a	a	a	a	a	a	a	a
V100	a	a	a	a	a	a	a	a	ab	a

Figure 7. Means of PRInorm measurements during the growing season with the results of ANOVA and Tukey-test. Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$).

A klorofill-tartalommal összefüggő vegetációs indexek közül az NDVI-index (8.ábra) értékeit vizsgálva kiderült, hogy a július 14-i és 20-i mérések alkalmával az öntözött és öntözetlen állományok elkülönültek egymástól. Az augusztus 4-i mérés időpontjában a K és V50 beállítások eltértek egymástól, azonban a V75 és a V100 növényállományok sem a kontroll, sem az 50%-os vízellátottságú kezeléstől nem különböztek. A tenyészedőszakban végzett mérések alkalmával nem mutatható ki egyértelmű különbség a különböző vízellátottsági kezeléseket között az NDVI alapján. Más tanulmányokban elvégzett kísérletekben az NDVI index különbséget mutatott az eltérő vízellátottságú kezeléseket között, illetve korrelált más vizsgált indexekkel, mint például a WI-index (Alordzinu et al. 2021).

8. ábra. NDVI alakulása a tenyészedőszakban és az ANOVA és Tukey-teszt eredményeivel. Az eltérő betűk szignifikáns különbséget jelentenek ($p < 0,05$).

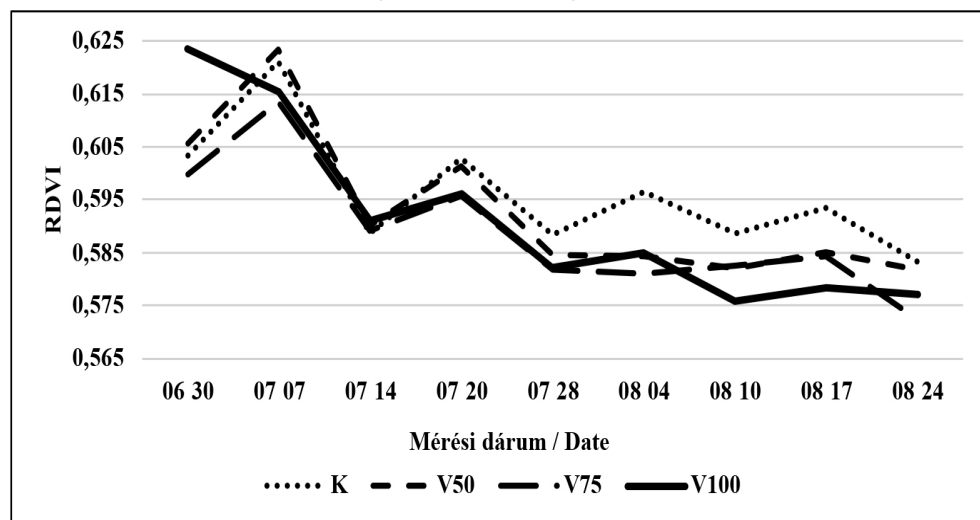


	06.30	07.07	07.14	07.20	07.28	08.04	08.10	08.14	08.24	átlag
ANOVA	0,218	0,102	0,00415	<0,001	0,748	<0,05	0,256	0,099	0,167	0,177
Tukey HSD										
K	a	a	b	b	a	a	a	a	a	a
V50	a	a	a	a	a	b	a	a	a	a
V75	a	a	a	a	a	ab	a	a	a	a
V100	a	a	a	a	a	ab	a	a	a	a

Figure 8. Means of NDVI measurements during the growing season with the results of ANOVA and Tukey-test. Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$).

Az RDVI a relatív víztartalommal fordítottan arányos (Ihuoma és Madramootoo 2019), vagyis az alacsonyabb RDVI értékek jelzik várhatóan a jobb vízellátottságot. Az RDVI-index (9. ábra) esetében négy mérési alkalommal találtunk különbséget a kezelések között. A június 30-án tapasztalható eltérés nem a vízstressz hatására alakult ki, hiszen a V100 kezelést különítette el a többi állománytól, ebben a kezelésben hibásan jelezve kiugró stressz értéket. Az öntözés időszakában nem látható különbség beállítások között. Az öntözés befejezését (augusztus 02.) követő három mérés során a kontroll minden esetben eltért valamelyik öntözött kezeléstől, azonban az öntözött kezeléseket nem, vagy nem megfelelően tudta elkülöníteni egymástól, illetve főként az öntözött időszakban még a kontrolltól sem. Az utolsó mérés során sem látható különbség. Az RDVI indexnél folyamatos csökkenő tendencia figyelhető meg a tenyészidő előrehaladtával.

9. ábra. RDVI alakulása a tenyészidőszakban és az ANOVA és Tukey-teszt eredményeivel. Az eltérő betűk szignifikáns különbséget jelentenek ($p < 0,05$).

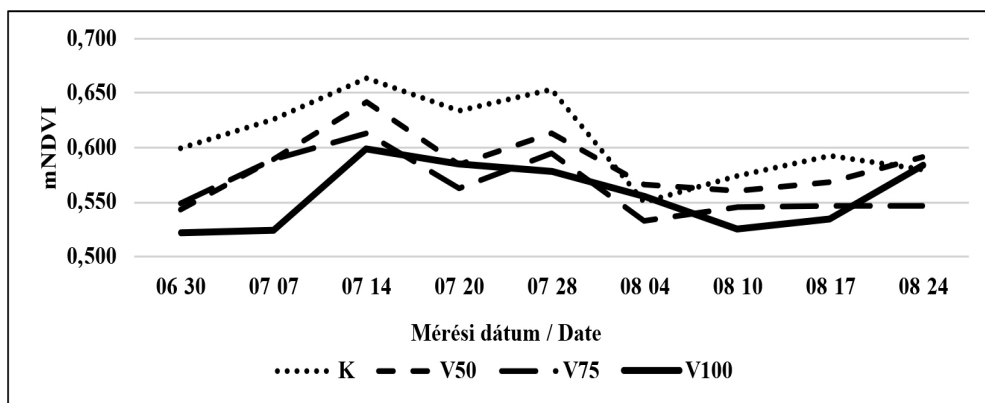


	06.30	07.07	07.14	07.20	07.28	08.04	08.10	08.17	08.24	átlag
ANOVA	<0,001	0,07	0,948	0,0976	0,353	<0,01	<0,05	0,0527	0,112	0,00186
Tukey HSD										
K	b	a	a	a	a	a	a	a	a	a
V50	b	a	a	a	a	b	ab	ab	a	ab
V75	b	a	a	a	a	b	ab	ab	a	b
V100	a	a	a	a	a	ab	b	b	a	ab

Figure 9. Means of RDVI measurements during the growing season with the results of ANOVA and Tukey-test. Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$).

Az mNDVI-index alapján az első két mérés során (június 30., július 7.), valamint július 20-án az öntözött és öntözetlen kezelések szignifikánsan elkülönültek egymástól, valamint a július 7-i alkalommal a V100 beállítás is eltért a deficit öntözési kezelésektől (10. ábra). Az augusztus 4-i alkalommal az öntözés felfüggesztését követően nem különültek el a kezelések egymástól. A többi mérés során határozott eltérés a K és V100, valamint a K és V75 között tapasztalható. Az utolsó mérés adatai közötti eredmények - az öntözés felfüggesztése után 3 héttel - már kevésbé befolyásoltak a kísérlet beállításai által, hiszen volt idő a kiegyenlítődésre. A teljes mérési időszak átlagait tekintve egyértelműen elkülönül a K és a V50 egymástól és a két magasabb vízellátottságú kezeléstől is, azonban a V75 és V100 között nincs eltérés.

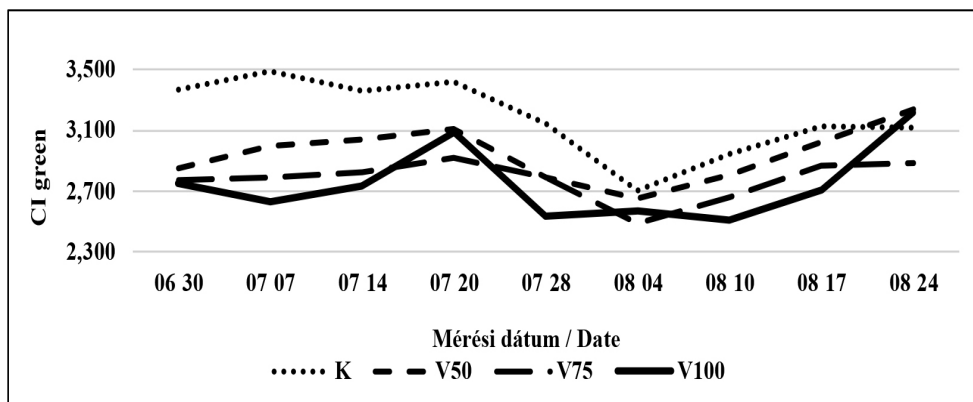
10. ábra. mNDVI alakulása a tenyészedőszakban és az ANOVA és Tukey-teszt eredményeivel. Az eltérő betűk szignifikáns különbséget jelentenek ($p < 0,05$).



	06.30	07.07	07.14	07.20	07.28	08.04	08.10	08.17	08.24	átlag
ANOVA	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,218	0,0512	<0,01	0,0127	<0,001
Tukey HSD										
K	a	a	a	a	a	a	a	a	ab	a
V50	b	b	ab	b	ab	a	ab	ab	a	b
V75	b	b	bc	b	b	a	ab	b	b	c
V100	b	c	c	b	b	a	b	b	a	c

Figure 10. Means of mNDVI measurements during the growing season with the results of ANOVA and Tukey-test. Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$).

11. ábra. CI_{green} alakulása a tenyészidőszakban és az ANOVA és Tukey-teszt eredményeivel. Az eltérő betűk szignifikáns különbséget jelentenek ($p < 0,05$).



	06.30	07.07	07.14	07.20	07.28	08.04	08.10	08.17	08.24	átlag
ANOVA	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0899	<0,001	<0,01	<0,05	<0,001
Tukey HSD										
K	a	a	a	a	a	a	a	a	ab	a
V50	b	b	b	b	b	a	ab	a	ab	b
V75	b	bc	bc	b	b	a	bc	ab	b	c
V100	b	c	c	b	b	a	c	b	ab	c

Figure 11. Means of CI_{green} measurements during the growing season with the results of ANOVA and Tukey-test. Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$).

A CI_{green} index eredményei szerint az első alkalommal, valamint július 20-án és július 28-án a K és az öntözött kezelések szignifikánsan eltértek egymástól (11. ábra). A második és harmadik időpontban a K, V50 és V100 teljes mértékben elkülönültek egymástól. Az augusztus 10-i és augusztus 17-i mérések során az öntözetlen kezelés és a V100 mutatott eltérést, illetve augusztus 10-én a V75 és K is. Az öntözés felfüggesztését követő mérés alkalmával nem volt eltérés, ahogy azt a többi indexnél is tapasztaltuk. Az átlagokat tekintve ugyanazt a tendenciát figyelhetjük meg, mint az mNDVI index esetében, tehát a K és a V50 egyértelmű elkülönülése, a V75 és V100 kezelésektől, amelyek között a teszt nem talált eltérést.

Következtetések

A 325-1075 nm hullámhosszúságú, látható és közeli infravörös tartományban a detektálható vegetációs indexek közül, az mNDVI és CL_{green} indexek a kísérlet során alkalmasnak bizonyultak a vízellátottsági szintek elkülönítésére. További, a vízellátottság monitorozása szempontjából potenciálisan érdekes indexek detektálásához nagyobb hullámhossztartományú műszerre lenne szükség. Alordzinu és társai (2021b) 531 és 2130 nm közötti mérése során az NDVI, RDVI, WI, PRI és PRI_{norm} is alkalmasnak bizonyult a vízstressz kimutatására a növény összes fejlődési szakaszában, paradicsom esetében. Ezzel szemben az általunk végzett mérések alapján, az általuk is vizsgált mNDVI és CL_{green} indexek voltak megfelelőbbek a vízellátottság monitorozására.

Irodalomjegyzék

1. Alordzinu, K.E., Li, J., Lan, Y., Appiah, S.A., AL Aasmi, A. and Wang, H. 2021a. Rapid Estimation of Crop Water Stress Index on Tomato Growth. *Sensors*, 21(15): 5142. <https://doi.org/10.3390/s21155142>
2. Alordzinu, K.E., Li, J., Lan, Y., Appiah, S.A., AL Aasmi, A., Wang, H., Liao, J., Sam-Amoah, L.K. and Qiao, S. 2021b. Ground-Based Hyperspectral Remote Sensing for Estimating Water Stress in Tomato Growth in Sandy Loam and Silty Loam Soils. *Sensors*, 21(17): 5705. <https://doi.org/10.3390/s21175705>
3. 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.
4. Giovannucci, E., Rimm, E.B., Liu, Y., Stampfer, M.J. and Willett, W.C. 2002. A Prospective Study of Tomato Products, Lycopene, and Prostate Cancer Risk, *JNCI: Journal of the National Cancer Institute*, 94(5-6): 391-398. <https://doi.org/10.1093/jnci/94.5.391>
5. Helyes, L., Varga, Gy., Pék, Z. and Dimény, J. 1999. The simultaneous effect of variety, irrigation and weather on tomato yield. *Acta Horticulturae*, 487: 499-505.
6. Ihuoma, S.O. and Madramootoo, C.A. 2019. Sensitivity of spectral vegetation indices for monitoring water stress in tomato plants. *Computers and Electronics in Agriculture*, 163: 49-58.
7. Kirda, C. 2002. Deficit irrigation scheduling based on plant growth stages showing water stress tolerance. *Food and Agricultural Organization of the United Nations, Deficit Irrigation Practices, Water Reports*, 22: 102.
8. Le, 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: 523-529.
9. Lugasi A., Hóvári J., Bíró L., Brandt S. és Helyes L. 2004. Élelmiszereink likopin-tartalmát befolyásoló tényezők és a hazai lakosság likopinbevitel. *Magyar onkológia*, 48(2):131-136.

10. 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. <https://doi.org/10.3390/w11030586>
11. 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. *Irrig. Sci.* 36: 143–158 <https://doi.org/10.1007/s00271-018-0571-2>
12. Szabó, A., Tamás, J., Kövesdi, Á. and Nagy, A. 2023. Evaluation of new pivoting linear-move precision irrigation machine. *Irrigation and Drainage*, 1– 12. Available from: <https://doi.org/10.1002/ird.2850>
13. Takács, S., Pék, Z., Csányi, D., Daood, H.G., Szuvandzsiev, P., Palotás, G. and Helyes, L. 2020. Influence of Water Stress Levels on the Yield and Lycopene Content of Tomato. *Water*, 12(8): 2165. <https://doi.org/10.3390/w12082165>
14. Takács, S. and Bíró, T. 2022. Two seasons of deficit irrigation of processing tomato in Hungary. *Acta Hort.* 1335: 657-664.

The results of tomato leaf spectrum examination in the light of water supply

CZINKOCZKI, E., ÉGEI, M., TAKÁCS, S.

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

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

Summary

The cultivation of tomatoes has been increasing year by year, and is expected to continue to grow due to the rise in population size, and the beneficial effects of tomato on the human body, which have become common knowledge as a result of the spread of health-conscious lifestyles. However, economical cultivation cannot be achieved without irrigation, but it is necessary to use methods that optimise the quality of the crop as well as the quantity. Nowadays, precision irrigation is becoming increasingly widespread, and monitoring the water status of plants, i.e. the continuous monitoring of their water supply, is an essential pillar of this method.

The effects of our four different irrigation water supply treatments (K-control, V50 - 50%, V75 - 75%, V100 - 100%) on plant water status were monitored by spectral methods during the growing season. In addition to the SPAD, a FielSpec HandHeld 2 spectroradiometer with a similar measuring range to other commercially available instruments, i.e. sensitive in the visible and near infrared ranges (325 - 1075nm), were used. During the measurements, the SPAD chlorophyll meter was found to be a suitable method for the differentiation of unirrigated and irrigated treatments, but not a reliable method for the separation of different water supply levels. Two of the vegetation indices that can be calculated from reflectance data in the wavelength range detected by the spectroradiometer were found to be suitable for detecting symptoms of water stress. The mNDVI and CIgreen indices were able to significantly

distinguish different water supply levels in several cases. It is recommended to conduct a similar experiment during a prolonged drought period, when more significant differences can be indicated between water supply treatments to test the appropriate thresholds.

Keywords: spectrum, NDVI, vegetation index, irrigation, water stress, SPAD

Szerzők:

Czinkoczkai Enikő – agrármérnök, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Kertészettudományi Intézet, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

Égei Márton – tudományos segédmunkatárs, 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.