

DIPLOMADOLGOZAT

CZINKOCZKI ENIKŐ
osztatlan agrármérnök

Gödöllő
2023



**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Osztatlan Agrármérnök Szak**

**VEGETÁCIÓS INDEXEK VÍZSTRESSZ MONITORINGRA
VALÓ ALKALMASSÁGÁNAK VIZSGÁLATA
PARADICSOMBAN**

Belső konzulens: Dr. Takács Sándor
tudományos munkatárs

Készítette: Czinkoczki Enikő
URB8G0
nappali

Intézet/Tanszék: Kertészettudományi Intézet

**Gödöllő
2023**

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	4
1.1. Bevezető gondolatok.....	4
1.2. Célkitűzések.....	6
2. Szakirodalmi áttekintés	7
2.1. <i>A paradicsom általános jellemzése</i>	7
2.1.1. A paradicsom morfológiai jellemzői	7
2.1.2. A paradicsom élettani igényei	7
2.1.2.1. Fényigény	7
2.1.2.2. Hőigény	8
2.1.2.3. Talajigény.....	8
2.1.2.4. Tápanyagigény	9
2.1.2.5. Vízigény	9
2.1.3. A feldolgozás szempontjából fontos beltartalmi tulajdonságai.....	10
2.2. <i>A paradicsom termesztési adatai</i>	10
2.3. <i>Az öntözés, mint kulcstényező</i>	12
2.3.1. Az öntözés hatása a paradicsom termesztésére	12
2.3.2. Az öntözés szükségessége	13
2.3.3. Az öntözés hazai helyzete	15
2.3.4. Helyspecifikus vízellátás.....	17
2.3.5. Vízzstressz monitoring.....	17
3. Anyag és módszer	18
3.1. <i>Kísérlet körülményei</i>	18
3.1.1. Kísérletek beállítása	18
3.2. <i>Kijuttatandó öntözővízadagok meghatározása</i>	20
3.3. <i>A mérési eszközök</i>	21
3.3.1. SPAD 502 Plus Chlorofill Meter.....	21

3.3.2.	ASD (American Spectral Devices) FieldSpec HandHeld 2™ spektrométer	21
3.3.3.	Statisztikai értékelés	22
4.	Eredmények és értékelésük	23
4.1.	<i>Meteorológiai adatok a tenyésztési időszakokban</i>	23
4.1.1.	A 2021-es tenyésztési időszak meteorológiai adatai	23
4.1.2.	A 2022-es tenyésztési időszak meteorológiai adatai	24
4.2.	<i>A talajnedvesség változása a tenyésztési időszakokban</i>	25
4.2.1.	Talajnedvesség alakulása 2021-ben	25
4.2.2.	Talajnedvesség alakulása 2022-ben	26
4.3.	<i>Vízellátottság hatása a paradicsom lombjának spektrális tulajdonságaira</i>	28
4.3.1.	SPAD mérések adatai	28
4.3.2.	Vízstressz hatása a vegetációs indexekre	30
4.3.2.1.	A WI-index mérési eredményei	30
4.3.2.2.	PRI-index mérési eredményei	31
4.3.2.3.	NDVI-index mérési eredményei	32
4.3.2.4.	mNDVI-index mérési eredményei	34
4.3.2.5.	CI _{green} -index mérési eredményei	35
4.3.2.6.	CI _{rededge} index mérési eredményei	37
4.3.2.7.	PSRI-index mérési eredményei	38
5.	Következtetések és javaslatok	40
6.	Összefoglalás	42
7.	Köszönetnyilvánítás	44
8.	Irodalomjegyzék	45

1. Bevezetés

1.1. Bevezető gondolatok

A globális népességgyarapodás, illetve az ételkészítés túlfogyasztása és felhalmozása egyre nagyobb intenzitású termelést kíván a mezőgazdaságtól. Azonban a növények optimális vízellátását az elmúlt években egyre jobban nehezítik a szélsőséges időjárási tényezők, mint a hosszantartó aszályos, hóhullámos periódusok, valamint a csapadék szélsőséges eloszlása. Mindemellett öntözhető édesvízkészleteink korlátozott mennyiségben állnak rendelkezésünkre, amely az elmúlt évtizedekben csökkenő tendenciát is mutat. Így egy olyan megoldást kell alkalmaznunk növényeink öntözése során, amely jó termés minőséget és mennyiséget egyaránt biztosít.

A paradicsom az egyik legfontosabb zöldségnövényünk. A világ minden táján fogyasztják frissen és feldolgozott formában egyaránt. Termesztése évről-évre egyre nagyobb növekedést mutat. Azonban hazánk éghajlati adottságait tekintve a paradicsom öntözés nélkül eredményesen nem termesztendő, ami a klímaváltozás hatására fokozódni fog.

A precíziós mezőgazdaság térnyerésével a precíziós vízellátás is egyre nagyobb szerephez jut. A helyspecifikus, precíziós öntözőberendezések alkalmazása esetén elengedhetetlen a növény aktuális vízellátásának nyomon követése (Neupane, 2019), mivel minden esetben a többletvíz öntözésének elkerülésére törekszünk, és csak a jó minőségű és profitábilis termés eléréséhez szükséges vízmennyiség kiadagolása kívánatos (Takács, 2019). 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 végzett spektrális felmérések (Walsh et. al., 2022), termális felvételek és kontaktmérések üvegházakban és szabadföldi körülmények között (Dangwal et.al., 2015; Katsoulas et. al., 2016). Azonban a gyakorlat számára, jól használható, gyors és olcsó módszer, amelyet a gazdálkodók is könnyen használnának, még nem terjedt el.

A napjainkban forgalomban lévő legerjedtebb spektrális műszerek a látható és a közeli infravörös tartományokban képesek mérni, kísérletem során, ezen hullámhosszokból számítható vegetációs indexek (VI) alkalmazhatóságát és hatékonyságát vizsgáltam a vízstressz különböző mértékű hatásának kimutatására és elkülönítésére.

A spektroradiométer által mért reflektancia adatok kiértékelése során öt VI-t (WI, PRI, NDVI, mNDVI, CIgreen) vizsgáltam, melyek vízstressz monitoring célból történő alkalmazására való hatékonyságát már számos tanulmány bizonyította (Ihouma és Madramootoo 2019; Alordzinu et al. 2021). Ezek mellett két másik index alkalmazhatóságát is megvizsgáltam, amelyek kevésbé

elterjedtek és az irodalomban ilyen célú alkalmazásuk kevésbé kutatott (CIrededge és PSRI). Ezek eredményeit pedig a széles körben elterjedt SPAD index-szel vettem össze.

1.2. Célkitűzések

A vizsgálataim során a következő kérdésekre kerestem választ:

- Milyen hatással van az öntözés az ipari paradicsom levelének spektrális tulajdonságaira?
- Mely vegetációs indexek alkalmasak leginkább a vízellátottság monitorozására?
- Mely indexek voltak a leghatékonyabbak a vízstressz kimutatására a két kísérleti év során?

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. A paradicsom általános jellemzése

A paradicsom (*Solanum lycopersicum*) az egyik legfontosabb zöldségnövényünk. Szubtrópusi eredetű növény, őshazájaként Dél-Amerikát tartjuk számon. Géncentrumának az Andok-hegységben található Peru, Ecuador és Chile területeit tekintik, azonban termesztésével Mexikóban kezdtek el foglalkozni, ahová gyomnövényként került. Európába Amerika felfedezését követően a spanyol hódítók által a XVI. században került be, először a déli területekre, mint Portugália és Spanyolország, ezt követően jutott el Észak- és Nyugat-Európába, valamint a világ más területeire, mint Kína, Japán vagy India. Nagyobb termesztési áttörése az első világháborút követő időszakra tehető. A termesztett fajták ősének a vad cseresznyeparadicsomot (*Lycopersicon lycopersicum* var. *cerasiforme*) tartják.

2.1.1. A paradicsom morfológiai jellemzői

A paradicsom eredeti, őshonos termőhelyén áttelel és évelő, azonban a világ minden más területén egyévesként termesztik. Mélyre hatoló akár 120-130 cm hosszú gyökere is lehet, melynek köszönhetően jól hasznosítja a talaj víztartalmát. A szár és virágzat fejlődését tekintve három csoportba soroljuk: folytonnövő, féldeterminált és determinált. Virágzata sárga színű, bogernyő és önbeporzó. Termése bogyótermés színe és alakja igen változatos napjainkban, lehet gömbölyű, lapított, szilva vagy körte alakú; színét tekintve a piros és sárgán kívül, akár fekete is lehet. (Helyes, 1999)

Az ipari termesztés során alkalmazott fajták általában piros színűek, kemény vagy félkemény bogyójúak, a hatékony gépi betakarítás érdekében, illetve determinált növekedésűek.

2.1.2. A paradicsom élettani igényei

2.1.2.1. Fényigény

Fényigényes növények csoportjába tartozik. Napi 5000 lux, azaz 200-300 J/cm² erősségű megvilágítás szükséges a megfelelő fejlődéséhez. Jelentős szerepe van a fény erősségének és megvilágításának is, hiszen nem megfelelő körülmények között a vegetatív fázis megnyúlik. 10-12 órás megvilágítás mellett megfelelő növekedést és fejlődést várhatunk, a zavartalan virágzáshoz szükséges 8-16 órás megvilágítás (Helyes, 1999). A fényigénye igen nagy a virágzás és az az utáni időszakban. Ebben az intervallumban, ha 10 napig kedvezőtlen a növények megvilágítása, akkor akár terméketlenné is válhatnak. Azonban szabadföldi termesztés esetében nem számít limitáló tényezőnek (Balázs, 2004).

2.1.2.2. *Hőigény*

A környezeti igényeit leginkább a mérsékelt öv éghajlata elégíti ki, ahol a termesztése is zajlik. A Markov-Heav (1953) páros által meghatározott fejlődéshez szükséges optimális hőmérséklet 22 ± 7 °C. A fejlődése 10 °C alatt leáll ez a paradicsom biológiai nullpontja (Helyes, 1999), ha a hőség tartósan 32 °C felett van, akkor pedig korlátolt. A 36-40 °C-os forróság kedvezőtlen hatással van a növény fejlődésére és kötődésére (Helyes, 1999).

A megfelelő csírázási hőmérséklet 20-22 °C, ha magasabb, akkor az apró növények deformáltak lesznek, 18 °C-nál alacsonyabb hőmérsékleten a csírázás időszak kitolódásával kell számolni.

A magas hőmérséklet zavart okozhat szikleveles állapotban is, a növény megnyúlását okozhatja. A vegetatív fejlődés során a 18-24 °C az optimális. A pollentömlő növekedése gátolt magas hőmérséklet (30 °C felett) esetén, ami megakadályozza a kötődést, illetve a túl alacsony 13-14 °C is korlátozza a kötést, így nem mehet végbe a megtermékenyítés. A bogyókötés időszakában optimális a nappali 20-25 °C és az éjszakai 16-18 °C.

Az ezt követő érési szakaszban a megfelelő karotinoid-összetétel kialakulását tekintve a 32°C alatti hőmérséklet az előnyös. A likopin szintézisének ez a hőmérséklet a felső küszöbértéke, amely a paradicsom karotinoid-összetételének domináns alkotóeleme és a piros színért felelős pigment. A hőmérséklet, ha e tartomány fölé emelkedik akkor a β -karotinoid szintézise indul meg, ami a narancssárga színért felelős, így a bogyók vesztenek piros színükből, hiszen ezen színanyag szintézise ebben a hőmérséklet tartományban még nem limitált (Helyes, 1999).

2.1.2.3. *Talajigény*

A szabadföldi paradicsomtermesztés számára előnyösek a megfelelő víztartó-kapacitású és levegőzöttségű talajok. Az egyik legjobb termőhelyet számukra a jó vízáteresztő-képességű, homokos vályog textúrájú talajok adják, azonban megfelelő gazdálkodás mellett kötöttebb talajokon is jó termés várható. A talaj felső 15-20 cm-es rétegének átjárhatóságát biztosítani kell, hiszen nem tűri a pangóvizet és a talajtömörödést. Mélyebb szántást kell alkalmazni az agyagos textúrájú talajokon, a jó beszivárgás érdekében és, hogy a gyökér mélyebbre hatolása zavartalan legyen. A könnyebb kártevő és kórokozó elleni védelem miatt, lehetőség szerint a paradicsom után se burgonyát, se paradicsomot ne termesszünk 3 éves periódusban. A paradicsom számára előnyös a kalciumban gazdag talaj (Somos, 1978).

2.1.2.4. Tápanyagigény

Az eredményes paradicsomtermesztés során elengedhetetlen a növekedést és a tervezett termésszintet kielégítő tápanyagutánpótlás. A makroelemek közül fontos szerepet tölt be a nitrogén, foszfor és kálium.

A nitrogén legnagyobb százalékban a termésben található (60-70%). A túlzott nitrogén ellátás a tenyészidőszak megnyúlást okozza, a hiánya esetén elkeskenyedő leveleket, és szár vékonyodást figyelhetünk meg. Nagy jelentősége van a virágzás, kötődés és bogyónövekedés időszakában.

A makroelemek közül a foszforra van legkisebb mennyiségben szüksége a paradicsomnak. Hiánya esetén a levelek fonák felé való besodródása, bíborvörös és kékeszöld elszíneződés figyelhető meg, valamint a törpenövés is. Két felvételi csúcsa van az egyik a kezdeti időszakban a megfelelő gyökeresedés támogatásához, a másik a virágzás és kötődés ideje.

A kálium a jó minőségű paradicsom termésének egyik meghatározó alapeleme. Nincs felvételi maximuma, felvétele egyenletesebb, mint a többi makroelemé. Szerepe a szénhidrátok szintézisében van és a növényen belüli áramlásban, és így a bogyók cukorszintjének megfelelőre emelése is, valamint fontos megléte a gyökeresedés és kötődés idején. A kálium körülbelül 80%-a termésben található, ami jó hatással van a növény eltarthatóságára.

Másik nagyon fontos elem a kalcium, melynek hiánya negatívan hat a termésminőségre, hiszen bogyók csúcsa rothadásnak indul. A gyökernövekedés leállása és a gyökér rothadása is kalcium hiánytünet. Emellett fontos elem a magnézium is, amely a klorofill egyik fontos alkotóeleme, amelynek hiánya magas káliumszintnél léphet fel. A mikroelemek közül nem mindegyik elem szerepe tisztázott. A paradicsom számára a legfontosabb mikroelemek: B, Fe, Zn, Cu, Mn, Mo (Helyes, 1999).

2.1.2.5. Vízigény

Az intenzív termesztés során a termesztéstechnológia fontos alappillére kell, hogy legyen az öntözés, hiszen e nélkül kockáztatjuk a termesztés eredményességét. Az előre nem kiszámítható évjáráthatás megnő, ami a bogyók minőségén és mennyiségén is látható lesz. A paradicsom hosszú tenyészidejű és nagy lombfelületű termesztett növényünk, így sok vizet is igényel, azonban a talaj víztartalmát kitűnően hasznosítja a mélyre hatoló gyökérzet által. A megfelelő vízellátás keléstől betakarításig 400-800 mm. A termesztési időszakot nézve a kezdeti időszakban, közvetlenül a kiültetést követően alacsony a vízfogyasztás (2-3 mm/nap). Ez fokozatosan emelkedik az intenzív lombnövekedési szakaszban. A lombozat kialakulásakor,

illetve a termésnövekedés időszakában elérheti a 6 mm/nap mennyiséget is. (Helyes, 1999) A kötődés és a bogyónövekedés szakaszában csúcsosodik ki leginkább a vízfelvétele. Majd megkezdődik a lomb öregedése és ezzel csökken a vízfelvétel is.

Az ipari fajták vízigénye kiültetéstől a betakarításig kb. 350-450 mm körül van, azonban az időjárási szélsőségek ezt módosíthatják a szabadföldi termesztés kitétsége miatt, illetve módosító szerepe van a tenyészidő hosszának is (Takács et al., 2020, 2021).

2.1.3. A feldolgozás szempontjából fontos beltartalmi tulajdonságai

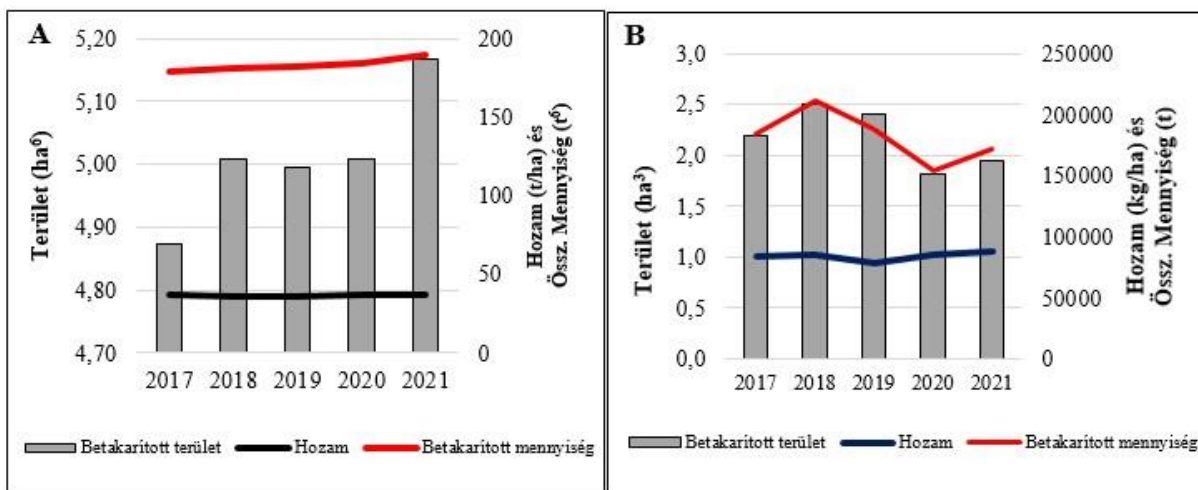
A bogyótermés legnagyobb arányú összetevője a víz, ami 93-96%. A kereskedelmi szempontból is fontos alkotórészek a vízoldható alkotóelemek, ezek oldott formában megtalálható ásványi anyagok, szerves savak, szénhidrátok, festékanyagok és vitaminok. Annál értékeesebb az adott termék, minél többet tartalmaz ezekből az anyagokból. A feldolgozás során egyik fontos szempont a vízoldható szárazanyagtartalom, ami paradicsom esetében 4-7% között mozog, amelynek koncentrációját nagyban befolyásolja a növény vízellátottsága is. Az öntözetlen állományok szárazanyagtartalma (Brix^o) nagyobb, mint az öntözött kezeléseké, melyek a kijutatott vízmennyiségnek megfelelő szárazanyagtartalom csökkenést mutatnak (Égei et al. 2020). A bogyó cukortartama 2-4% közötti érték, ami nagyrészt glükóz és fruktóz és azonos mennyiségben van jelen. A feldolgozás szempontjából fontos még a rosttartalom, mely a paradicsom esetében 0,5-1% között van. Számos vitamint is tartalmaz, melyek közül az egyik legjelentősebb a C-vitamin, azonban ennek mennyisége elmarad a paprikáétól. A piros színét biztosító likopin fontos az ipari feldolgozás szempontjából is, illetve antioxidáns hatása miatt egészségmegőrzési szempontból jelentős a szerepe.

2.2. A paradicsom termesztési adatai

A FAO adatainak összesítése alapján 2017 és 2021 között világviszonylatban a paradicsom termelése, ahogy az 1. ábra (A) is mutatja növekvő tendenciát mutat. A betakarított terület 2017-ben 4,87 millió hektár volt, amely 2021-re 5,17 millió hektárra emelkedett. A hozam átlagosan 36 t/ha volt. A betakarított termésmennyiségek 180 és 190 millió tonna között voltak, azaz 10 millió tonnával emelkedett ebben a vizsgált ötéves intervallumban. Tehát elmondható, hogy folyamatosan növekszik a termelés, ami a növekvő fogyasztás miatt szükséges is. Világszinten az átlagos paradicsom fogyasztás 19-21 kg/év/fő (FAO, 2023).

Magyarország termelési adatait vizsgálva a (1. ábra (B)) azonban csökkenést figyelhetünk meg. A betakarított terület és a termésmennyiség azonos mértékben változott az elmúlt években.

2017 és 2019 között a területek 2000 hektár felett voltak, és a termés mennyiségek is 180 és 200 ezer tonna felett alakultak. 2020 és 2021-ben a területek 2000 hektár alatt voltak és a megtermelt mennyiség is csak 150 és 175 ezer tonna között volt mérhető. A hozam ezzel szemben biztatóbb, növekvő tendenciát mutatott, átlagosan 86 t/ha volt, kisebb eltérésekkel.

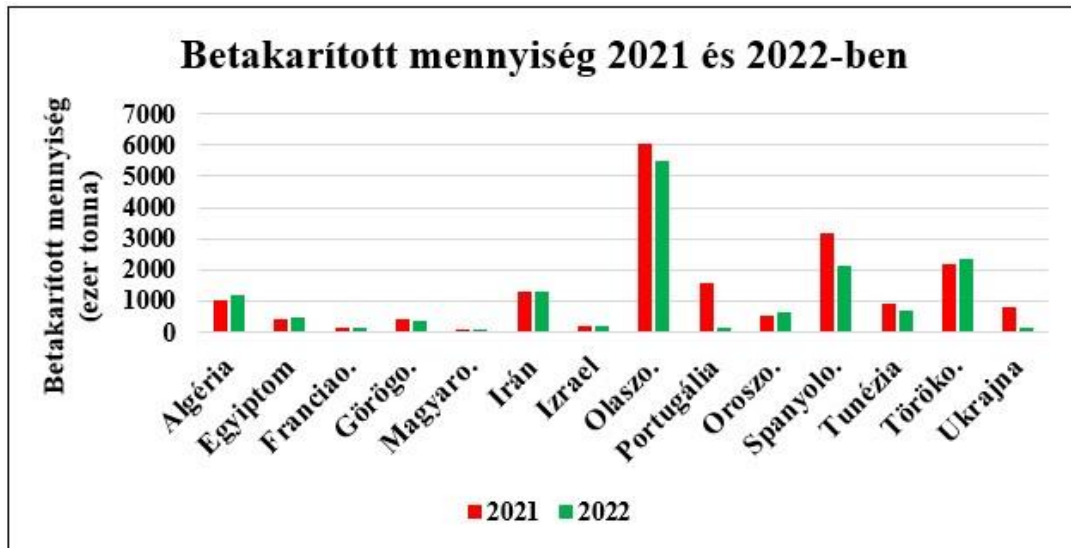


1. ábra: A paradicsom termelési adatai a világon (A) és Magyarországon (B) 2017-2021 között (FAO, 2023).

A World Processing Tomato Council (WPTC) által közölt speciálisan ipari paradicsomra vonatkozó adatait mutatja be a 2. ábra, amely az AMITOM, vagyis a mediterrán térség, valamint Ukrajna és Oroszország termelési adatait foglalja magába. A grafikonon jól látható, hogy ezen közösségben legmagasabb termelési mutatókat az elmúlt két évben Olaszország érte el 5 millió tonna feletti termeléssel, 2021-ben a 6 millió tonnát is elérte. Őt követi Spanyolország 2-3 millió tonna terméssel, majd Törökország 2 millió tonna körüli értékekkel. A többi ország egy millió tonnát (Irán, Algéria), vagy az alattit termelt.

A grafikonon fel nem tüntetett vezető ipari paradicsomtermelő Kalifornia, amelyet Kína követ. Az amerikai ipari paradicsom nagyhatalom évenként átlagosan 10 millió tonnát termel, Kína pedig 5-6 millió tonnát.

Magyarország 2021-ben 115000 tonnát, 2022-ben 80000 tonnát termelt, ezen csökkenés nagymértékben tulajdonítható az aszálynak, illetve forróságnak.



2. ábra: Az ipari paradicsom termésmennyiségei 2021 és 2022-ben (WPTC, 2023).

2.3. Az öntözés, mint kulcstényező

2.3.1. Az öntözés hatása a paradicsom termesztésére

A paradicsom öntözés nélkül is képes életben maradni és termést hozni, a vízstressztűrő képességének köszönhetően, azonban az öntözést meghálálja (Helyes, 1999). Hazánk éghajlati adottságait tekintve az eredményes szabadföldi termesztése öntözéssel érhető el, így elkerülhetjük az előre nem kalkulálható évjáráthatást. Magyarországon nem alkalmazott technika a barázdás öntözés, azonban a világ számos paradicsomtermesztő országában még használatos technika. Hazánkban szabadföldi termesztésben leginkább alkalmazott módszerek a csepegtető mikroöntözés, lineár, illetve csévéldobos módszerek, az utóbbit ajánlott konzollal felszerelve használni.

A kezdeti időszakban a vetést vagy palántázást követően, ha a talaj nedvességtartalma kedvező, akkor elegendő egy-két öntözés 2-4 hetes periódusban. A lombnövekedés és virágzás szakaszában nagyon fontos a tudatos öntözés, hiszen az esetleges túlöntözés virág és bogyókezdemény elhulláshoz vezethet. Az extra nagymennyiségű vízmennyiség negatív hatással bír a kötődés időszakában, hiszen a magas páratartalom hatására a pollenszemek összetapadnak, így a termékenyülés esélye lecsökken, amelynek eredménye termés kiesés lesz (Deák, 2013). A termés színváltást követő időszakban alkalmazható a tudatosan korlátozott öntözés (Helyes et al., 2012), mely módszer használatával minőség növekedést és vízmegetakarítást érünk el. Szárazművelés mellett alacsony termésmennyiségre számíthatunk. 50-80%-kal magasabb termésátlagot érhetünk el, a rendszeres, illetve az egyszeri megfelelő

időpontban történő öntözés során, mint az öntözetlen területeken (Helyes, 1999). A termés kialakulásának, gyarapodásának, és a virág kötődésének feltételeire kedvező hatással van a rendszeres öntözés. A rendszeres vízellátottság hatására 35-40%-kal nagyobb a betakarított bogyók átlagtömege és több a kötődött bogyószám is. A termés kiesést a túlóntözés gyökérszónára gyakorolt negatív hatása is okozhatja, hiszen a kijutatott tápanyagok kimosódnak az általa már nem elérhető rétegekbe, így a megfelelő anyagok hiányában fejlődése korlátozottabb lesz, és kihat a növény további fenofázisaira (Deák, 2013).

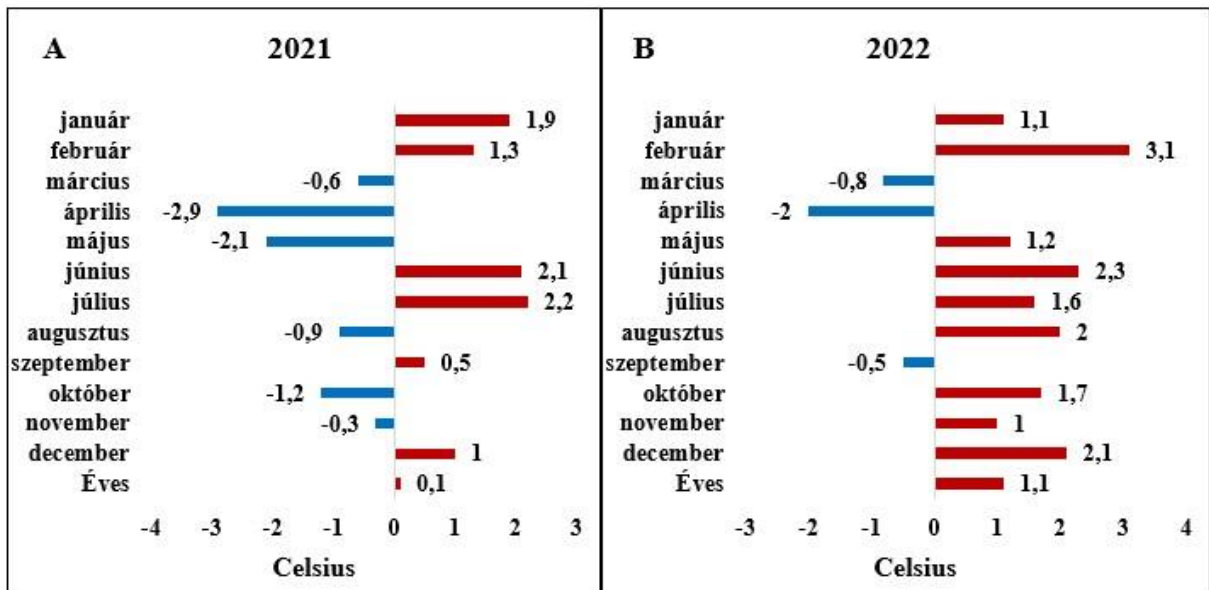
2.3.2. Az öntözés szükségessége

Napjainkban világszerte egyre több termelést nehezítő körülménnyel kell megküzdenie a mezőgazdaságnak, ilyen például a növekvő vízhiány, az éghajlatváltozás, az egyre gyakoribb aszályok és a globális felmelegedés (Hirich, et al., 2016).

Hazánkban is az időjárás évenkénti változása egyre több problémát okoz a gazdák számára. Az OMSZ adatai alapján készült grafikonok jól mutatják, hogy 2021-ben a tavaszi hónapokban, áprilisban és májusban 2-3 °C-kal hűvösebb volt az átlagos középhőmérséklet, az előző évekhez viszonyítva. A nyári, valamint a téli időszakban azonban melegebb napok voltak a korábbi normákhoz képest, főleg a június-július időszakban, amikor is 2 °C-kal magasabb értékeket mértek (3. ábra (A)) (OMSZ, 2023).

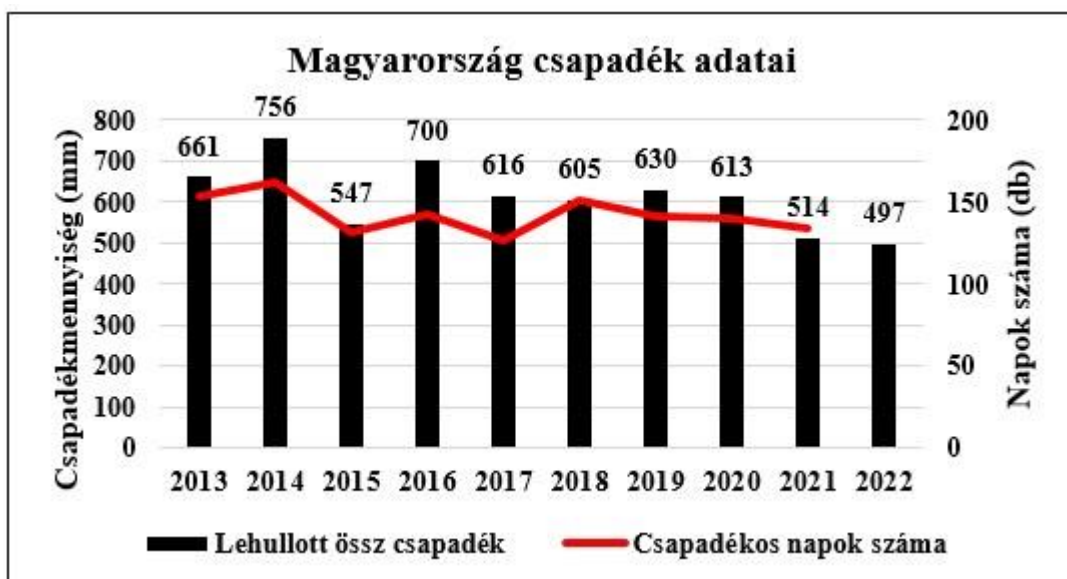
Három hónap volt 2022-ben, amely a sokévi átlagnál alacsonyabb volt, ezek a március 0,8 °C-kal, április 2 °C-kal és szeptember 0,5 °C-kal. A többi hónap esetében 1-3 °C közötti emelkedés tapasztalható, ezen értékekkel együtt a hőségnapok száma is növekedett. Összességében az éves középhőmérsékletek 1,1 °C-kal mutattak magasabb értékeket az előző évekhez képest (3. ábra (B)) (OMSZ, 2023).

Mindemelett az éves globálsugárzás értéke is növekvő tendenciát mutat az elmúlt 10 évben, 2013-ban 4571 MJ/m² volt 2021-ben pedig 4914 MJ/m² (KSH, 2023/a).



3. ábra: A középhőmérséklet alakulása az 1990-2010 közötti átlagokhoz viszonyítva 2021-ben (A) és 2022-ben (B) (OMSZ, 2023.)

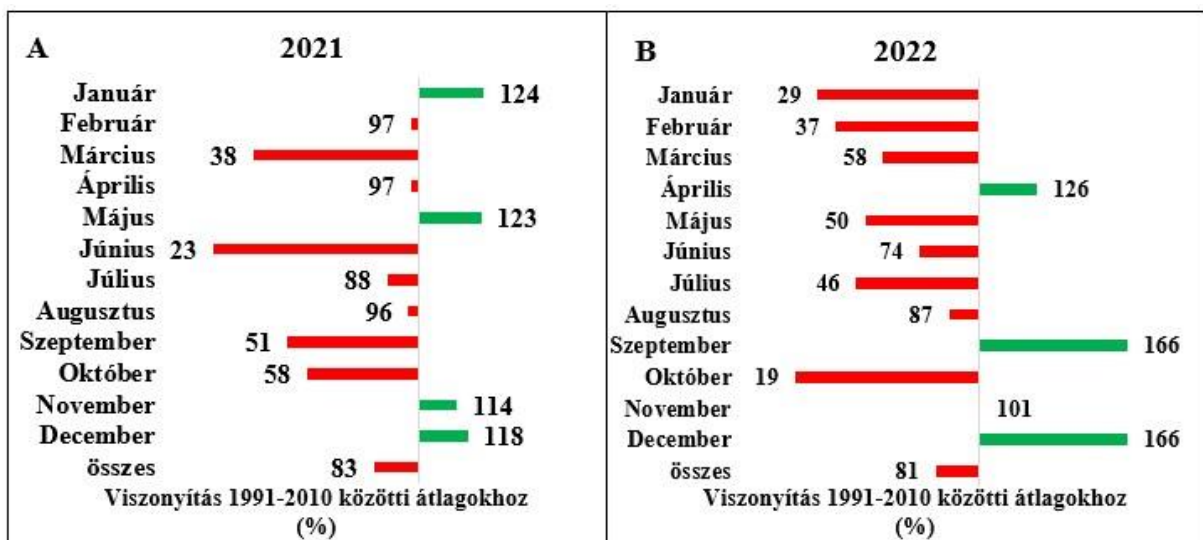
Az elmúlt évek csapadék összegeit vizsgálva kismértékű fokozatos csökkenés megfigyelhető a csapadék mennyiségében (4. ábra). 2019-ben 630 mm volt az éves mennyisége, azonban 2022-ben már csak 497 mm, ezzel együtt a csapadékos napok száma is fokozatosan csökken 2018 óta. Azonban a nagyobb gondot, a csapadék szélsőséges eloszlása okozza, hiszen térben és időben is egyenetlen.



4. ábra: Az éves csapadékösszegek és csapadékos napok száma 2013-2022 között (KSH, 2023/a).

A nyári június-júliusi csapadék jelentősen csökkent, amely az ipari paradicsom vízellátása szempontjából kritikus időszak. 2021 júniusában az átlagos havi összeg 23%-a hullott, júliusban a 88%-a (5. ábra (A)). 2022 júniusában 74%-a, júliusban pedig csak a 46%-a az előző évek átlagainak (5. ábra (B)). Mindemellett a téli csapadék mennyiségek is csökkenést mutatnak.

Mindkét év június és július hónapja melegebb és aszályosabb volt, mint az őket megelőző évek átlagai, ezek a hónapok a paradicsom tenyészidejét tekintve, a főbb fenofázisok időszakai, tehát nagyon fontos számukra a megfelelő környezet a fejlődéshez. A tenyészidőszakban ez a vízkiesés igen nagy gondot okozhat a termés kvantitív, illetve kvalitatív tulajdonságaiban is. A megfelelő hozam eléréséhez szükséges vízmennyiséget öntözés útján kell pótolni.



5. ábra: A havi csapadékösszegek az 1991-2020-as normál százalékában 2021-ben (A) és 2022-ben (B) (OMSZ, 2023).

2.3.3. Az öntözés hazai helyzete

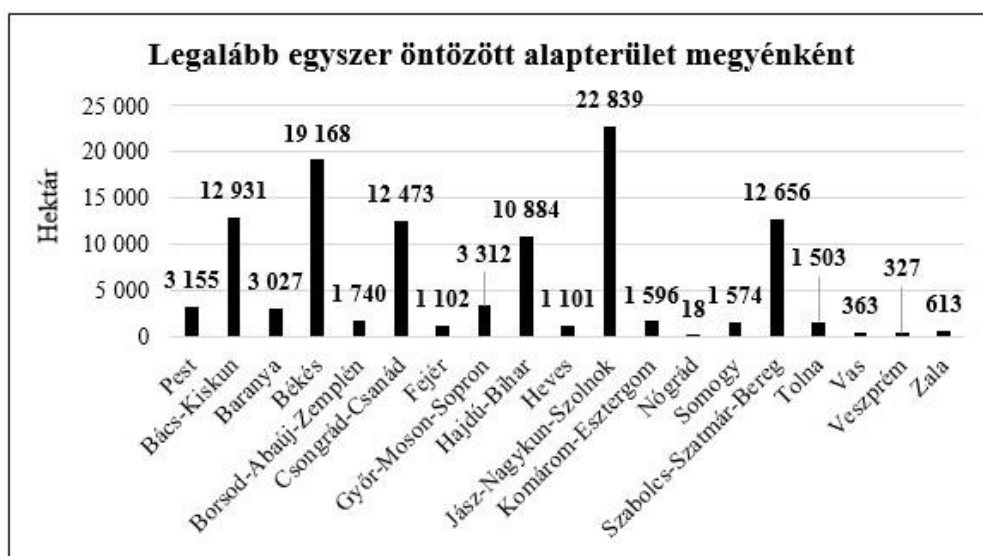
Az Agrárközgazdasági Intézet által közölt 2021. évi adatok alapján a vízjogilag öntözhető területek nagysága Magyarországon 174210 hektár volt, amelyből a gazdák 85031 hektárt valóban megöntöztek, ez 10 %-kal haladta meg a 2020-as értékeket. A kiöntözött öntözővízmennyiség 118436000 m³ volt, ami 35%-kal volt több mint az azt megelőző évben (Demeter, 2022).

A kiadagolás alapján a megöntözött területek 57,5%-án alkalmaztak esőztető, lineár öntözőgépet, 16,3%-án esőztető, csévéldobos, 14,9%-án körforgó öntözőgépet. A terület

6,3%-án csepegtető, és 3,8%-án felületi, árasztó öntözéssel biztosították a mesterséges vízpótlást (Demeter, 2022).

Az öntözött területek 87%-a az Alföldön volt. A legtöbb öntözővíz Jász-Nagykun-Szolnok, Békés és Csongrád-Csanád megyében került kiöntözésre (6. ábra), a legkevesebb megöntözött terület Nógrádban volt 18 hektár. (KSH, 2023/b)

A KSH 2015 és 2021 közötti adatai alapján az öntözött területek nagysága 80529 hektárról 110500 hektárra emelkedett az évek során. Azonban az egy hektárra kiöntözött öntözővízmennyisége folyamatosan csökkent a 7 éves időszakban, 1390 m³-ről 1170 m³-re, vagyis 200 m³-rel lett kevesebb (KSH, 2023/b).



6. ábra: Legalább egyszer öntözött területek megyénként 2021-ben (KSH, 2023/b).

Az elmúlt években (1. táblázat) az öntözött paradicsom területek nagysága a csapadék mennyiségével fordítottan volt arányos. A táblázatban látható, hogy 2016-ban volt a legkisebb az öntözött területek nagysága 235 hektár, hiszen abban az évben hullott a legtöbb csapadék 700 mm.

1. táblázat: Paradicsom öntözési adatai 2015-2021. (Demeter, 2022)

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ha	433,37	235,03	405,29	455,87	566,03	446,3	751,67
1000 m³	848,59	239,23	646,26	507,95	424,53	485,17	958,36

2.3.4. Helyspecifikus vízellátás

A világ édesvízkészlete korlátozott, és számos régióban egyre jelentősebb vízhiány alakult ki (Rafiei-Sardooi, 2022). Napjaink egyik megoldása a problémára a helyspecifikus és víztakarékos öntözőrendszerek és technológiák alkalmazása. Használata során javul a növény vízfelhasználása, csökken a kijuttatandó vízmennyiség, túlóntozás elkerülése a cél a jó termésmennyiség és minőség elérése. Azonban ezek a technológiák még folyamatos és jelentős fejlesztés alatt állnak. A cél egy rendszer létrehozása, amely által a gazdálkodó könnyen kiválaszthatja, hogy melyik növekedési szakaszban mekkora mennyiségű öntözővizet adagol ki (Neupane, 2019).

2.3.5. Vízstressz monitoring

A precíziós alapokra épülő öntözésvezérléshez fel kell ismernünk a vízhiány szabad szemmel nem látható tüneteit, ennek kimutatására számos kutatást és kísérletet végeznek a kutatók. Az elmúlt években több példát is láthattunk erre, mint műholdakkal és drónokkal végzett spektrális mérések, termális felvételek, valamint zárt körülmények között kontaktmérések (Gomez et al., 2008; Gevaert et al., 2015; Walsh et al., 2022). Ezen mérési módszereket több esetben is használták stressztényezők kimutatására, üvegházi körülmények között termesztett zöldségekkel (Ihouma és Madramooto, 2019; Katsoulas et. al., 2016), valamint szabadföldi növényekkel is (Dangwal et.al., 2015). Az egyik ilyen hatékony lehetőség a látható és közeli infravörös hullámhossztartományon alapuló távérzékelés, amelynek alkalmazásával az egyes vegetációs indexek segítségével kimutathatók a vízstressz jelei (Ihouma és Madramooto, 2019). Azonban az indexek gyakorlati alkalmazása még nem pontos. A széleskörű gyakorlati alkalmazás megkívánja a határértékek meghatározását, hiszen ez minden növény esetében különböző, valamint a körülményektől is függ. A hatékonyságukat, nagyban befolyásolják az időjárási jelenségek, talajadottságok és termesztés technológiák (Ihouma és Madramootoo, 2017).

3. Anyag és módszer

3.1. Kísérlet körülményei

A 2021-ben és 2022-ben végzett kísérletek a Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem Kertészeti Tanüzemében lettek beállítva szabadföldi körülmények között. A kísérleti tér talaja fizikai tulajdonságai alapján homokos vályog kategóriába sorolható az alábbi frakciók alapján: 47,5% vályog, 41% homok, 11,5% agyag. Gödöllő területét tekintve legjellemzőbb az enyhén lúgos barna erdőtalaj. A talaj vízelvezető- és vízelnyelő képessége jó, a vízkapacitása alacsony.

3.1.1. Kísérletek beállítása

A kísérletek során a H 1015 paradicsom hibridet alkalmaztam, amely egy közepes termetű, szétterülő és robosztus növény, amely kiválóan védi és fedi a termést betakarításig. Tenyészideje közepes, átlagosan 114 nap. A bogyója ovális-tömb alakú, tömege 75-80 gramm közötti, kemény és vastag héjú, ennek köszönhetően kiválóan alkalmas gépi betakarításra. Brix-értéke várhatóan 5,2 körül alakul betakarításkor (Heinzseed, 2022).

A kísérletek során alkalmazott vízádagok – 50% (V50), 75% (V75), 100% (V100) – kijuttatása csepegtető öntözéssel történt, négy ismétlésben beállítva mind a két kísérleti évben. Az öntözés nélküli kezelés (K), kontrollként funkcionált, amelynek vízellátását a csapadék, valamint 2021-ben a tápoldatozással kijutatott vízmennyiség biztosította, így ezeknél a növényállományoknál volt várható a legnagyobb stresszhatás. A V100 kezelésben a növény evapotranszpirációjának 100%-nak kijuttatása volt a cél. A másik két beállítás esetében vízdeficit öntözést alkalmaztam, amely a V75 esetében a V100-as kezelés 75%-át jelenti, a V50 tekintetében 50%-át; ezen növényállományoknál gyenge, valamint közepes stresszhatás volt várható.

A tápanyagutánpótlás 2021-ben részben tápoldatozással, az eltérő öntözővízádagokat biztosító öntöző körtől különálló, minden kezelésben egységes vízáramot biztosító körön történt. A kísérlet második évében kizárólag szilárd formában történt a tápanyag utánpótlás.

A csepegtető öntözés kialakítása során a különböző vízellátottsági kezeléseknél eltérő osztású csövek (2. táblázat) alkalmazása volt szükséges a megfelelő vízádagok kijuttatásához.

2. táblázat: A csepegtető öntözés során alkalmazott csövek fontosabb paraméterei.

	V50	V75	V100
Csepegtető elemek távolsága a csövön (cm)	15	20 (2 db)	10
Vízkijtatás (l/h/m)	5,3	8 (2*4 l/h/m)	10,6

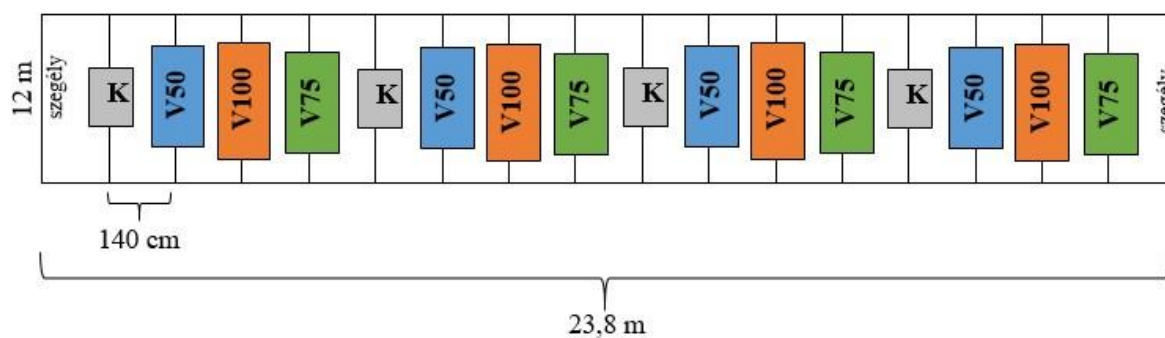
Az öntözéssel párhuzamosan minden kezelésben a csepegtető berendezések segítségével komplex tápoldat egyenletes kijuttatása is zajlott a tenyészidőszakban a megfelelő fejlődés érdekében 2021-ben a fentebb említett módon. A 2022-es évben minden tápanyag szilárd formában került kijuttatásra (3. táblázat).

3. táblázat: A tenyészidőszakban kijuttatott műtrágya hatóanyag mennyiségek.

Év	N (kg ha ⁻¹)	P (kg ha ⁻¹)	K (kg ha ⁻¹)	Ca (kg ha ⁻¹)
2021	148,3	67	120,54	90,8
2022	159	70	137	82

Az üvegházban nevelt palánták kiültetése kézzel történt szimpla sorokba, 140 centiméteres sortávra, 20 centiméteres tőtávra, 3,54 tő/m² állománysűrűséggel.

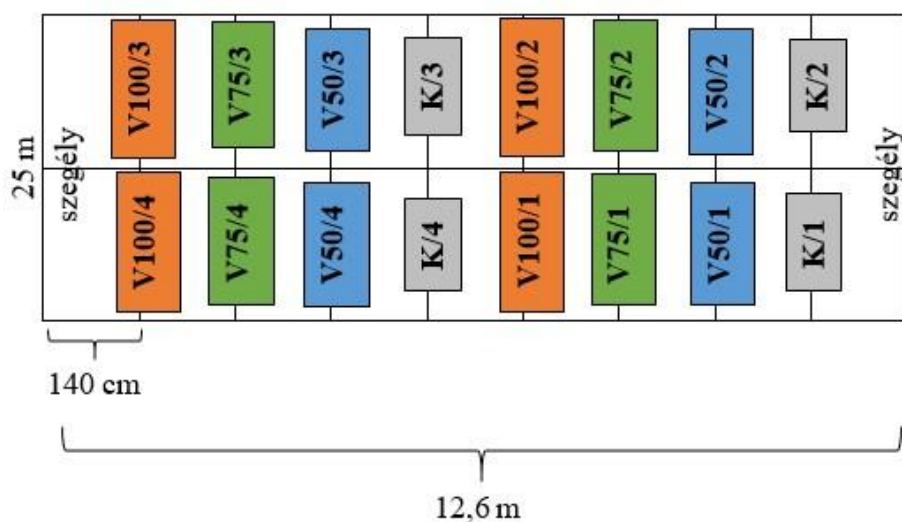
2021-ben május 13-án kerültek kiültetésre a paradicsom palánták 24 x 12 méteres területre, ahol a sorok mindegyike, ahogy a 7. ábrán is látható egy-egy kezelés ismétlése volt. Az öntözési szezon június 13. és augusztus 2. között zajlott. A betakarításra augusztus 31-én került sor. A tenyészidőszak 111 napig tartott.



7. ábra: 2021. évi kísérlet sematikus ábrázolása.

2022-ben május 10-én a palánták 12,6 x 25 méteres területre kerültek kiültetésre, a sorokat a vízszétosztó gerinccel megfelelően 12,5 méter jelentett egy ismétlést, így volt megoldható a négy beállítás, négy ismétlése, ahogy azt a 8. ábra is jól mutatja.

Az öntözési időszak június 14-től augusztus 8-ig tartott. A termés augusztus 29-én került betakarításra. A tenyészidőszak 112 napos volt a második kísérleti évben.



8. ábra: 2022. évi kísérlet sematikus ábrázolása.

3.2. Kijuttatandó öntözővízadagok meghatározása

Az öntözési szezonban a kezelések talajnedvesség tartalmát Acclima True TDR 315L talajnedvesség mérő szenzorral ellenőriztem (Acclima, Inc., Meridian, Idaho, USA). A mérőműszer a talaj 35 cm-es mélységében található vízellátottsági szinteket mérte. A heti kétszeri öntözés alkalmával a V100-as kezelés szabadföldi vízkapacitáson való tartása volt a cél. A teljes vízfelhasználás meghatározását néhány nagyobb csapadékesemény zavarta 2021-ben, hiszen a pontos mélybeszivárgott, illetve felszínen elfolyt mennyiség nem volt mérhető a kísérlet során. A mennyiségek nyomon követését vízháztartási egyenlet módszerrel végeztem. A módszert AquaCrop szoftverrel ellenőriztem, amelyből a gyökérszónában tárolt vízmennyiségek nyomon követhetők voltak (Steduto és munkatársai, 2012). Az előre kijuttatott mennyiségeket az Országos Meteorológiai Szolgálat előrejelzése alapján, növényi ET becslés útján számítottam.

Először az optimális 100%-os vízellátottság került megállapításra, majd ezen érték 75 és 50 százaléka a kezelés adagjainak megfelelően. A kijuttatott mennyiségek ellenőrzése a vízóraállás leolvasásának segítségével történt.

3.3. A mérési eszközök

3.3.1. SPAD 502 Plus Chlorofill Meter

A SPAD egy hordozható kis kézi műszer, amely a vizsgált növény szabad szemmel nem látható sejtszintű működéséről ad információt, és utal a relatív klorofill tartalmára (Konica Minolta, Inc, Tokió, Japán). A klorofill a zöld színanyag a növényekben, ami a fényenergia továbbításáért felelős. A növényekben mennyisége fajra jellemző, ha nagyobb eltérést mutat, az rendelleneségre utalhat. A mérés során a készülék felső részén lévő csipeszszerű részét csíptetjük a növény levelére, és 1-2 másodperc alatt megadja a levélen áthaladó vörös és infravörös fény arányából kalkulált, relatív klorofill tartalmat – azaz SPAD indexet. A kialakított értéket a fajra vagy fajtára jellemző referencia értékhez viszonyítva megtudjuk, hogy hogyan működik a növényünk anyagcseréje az adott környezeti tényezők között. Az eszköz előnye, hogy nem kell eltávolítani a levelet a növényről ([http1](#)). A méréseket heti rendszerességgel végeztem minden ismétlésben, randomizált mintavétellel, 5-5 levelet kiválasztottam, így kezelésként összesen 20 levelet mértem az adaxiális felületen.

3.3.2. ASD (American Spectral Devices) FieldSpec HandHeld 2TM spektroradiometer

A hiperspektrális műszer 325-1075 nanométeres hullámhossztartományban méri a reflektancia értékeket, ± 1 nanométeres pontossággal. Legfontosabb részei, a színeképbontásért felelős és optikai ráccsal ellátott monokromátor, az ehhez kapcsolódó nagy érzékenységgű detektor és a vezérlőegység, amely kapcsolatot is teremt a számítógéppel, illetve a sötétáram korrekciós rendszer (offset). Az ultraibolya, az emberi szem által érzékelhető tartomány és az infravörös tartományon belül a közeli infravörös tartoznak az érzékelhető csatornákhöz.

A terepi használhatósága mellett további előnye, hogy egy levél klipsz csatlakoztatható a szondához. A szonda nagy intenzitású diódával ellátott, önálló fényforrással rendelkezik, 20 milliméter pontátmérőjű, amelynek segítségével a kontaktmérések sikeressége elősegíthető. A műszer ezen része lehetővé teszi a levelek mérését anélkül, hogy a levelet eltávolítanánk vagy sérülést, roncsolást okoznánk. További előnye a szondára rögzíthető forgatható fej, melynek mindkét oldalán beágyazott háttérpanel van, a fekete panel reflexiós, a fehér transzmissziós mérésekre alkalmas ([http2](#)).

A mérések ezzel a műszerrel is heti rendszerességűek voltak, minden ismétlésben 5-5 levelet kiválasztva, tehát minden kezelésben 20-20 adatfelvétel történt mérésenként a levél adaxiális felületéről.

A méréseket a déli órákban, 11 és 14 óra között végeztem.

A kísérlet során a műszer által mért hullámhossztartományban detektálható hét spektrális vegetációs index került értékelésre (4. táblázat).

4. táblázat: A vizsgált vegetációs indexek kiszámítása.

Rövidítés	VI elnevezése	Kiszámítása	
WI	Water index	$\frac{R_{900}}{R_{550}}$	(Peñuelas et. al., 1993)
PRI	Photochemical reflective index	$\frac{(R_{570} - R_{531})}{(R_{570} + R_{531})}$	(Gamon et. al., 1992)
NDVI	Normalized difference vegetation index	$NDVI = \frac{(R_{800} - R_{670})}{(R_{800} + R_{670})}$	(Rouse et. al, 1974; Mzid et. al., 2020)
mNDVI	Modified normalized difference vegetation index	$(R_{750} - R_{705})$	(Gao et. al., 1996)
CI_{green}	Green chlorophyll index	$CI_{green} = \left(\frac{R_{750}}{R_{550}}\right) - 1$	(Gitelson et. al., 2005)
CI_{rededge710}	Chlorophyll index red edge 710	$\frac{750\text{ nm}}{710\text{ nm}} - 1$	(Gitelson et al., 2005)
PSRI	Plant senescence reflectance index	$\frac{678\text{ nm} - 500\text{ nm}}{750\text{ nm}}$	(Merzlyak et al., 1999)

3.3.3. Statisztikai értékelés

Az adatok kiértékelésére és a kezelések összehasonlítására egytényezős varianciaanalízist alkalmaztam. Amennyiben a próba különbséget mutatott a kezelések között, a páronkénti összehasonlítását Tukey HSD teszttel végeztem el.

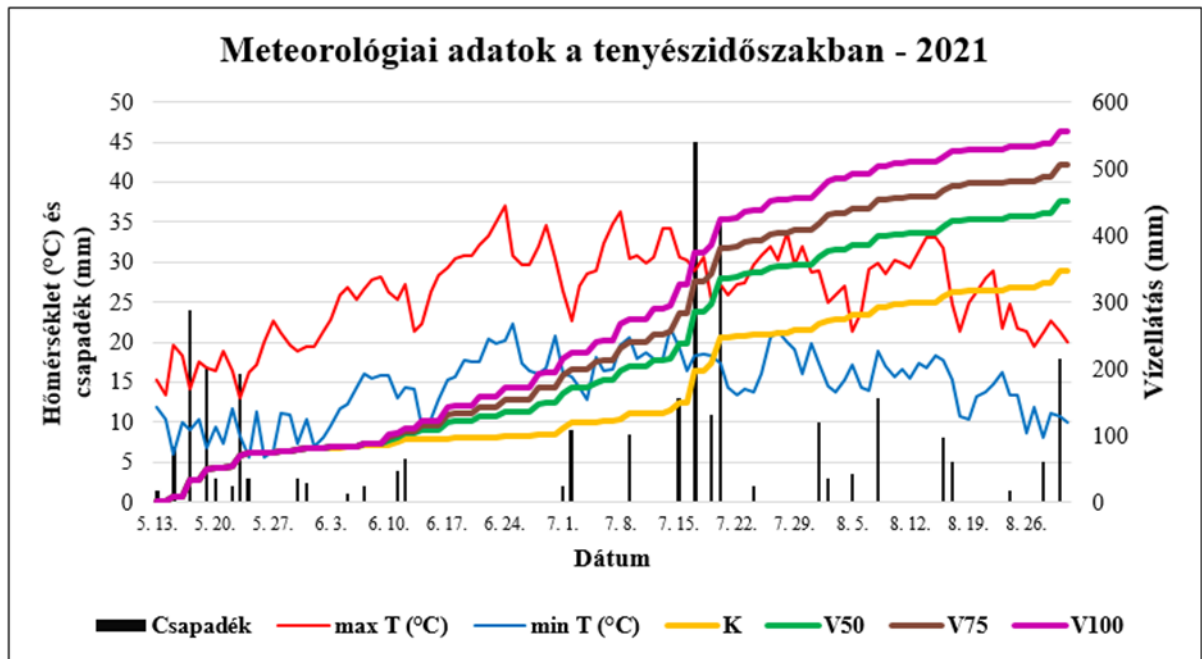
4. Eredmények és értékelésük

4.1. Meteorológiai adatok a tenyészidőszakokban

4.1.1. A 2021 –es tenyészidőszak meteorológiai adatai

A 2021-es szezon időjárása igen szélsőséges volt. A kiültetés, illetve az utána következő időszak igen hűvös és csapadékos volt, amely miatt az öntözési kísérlet beállítása később indulhatott. Ez az időjárás 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). Ezen meleg napok legfőképp június harmadik dekádjától július végig voltak jellemzőek, amely időszak magában foglalja a virágzás fázisát (9. ábra). Az átlagos relatív páratartalom a szezonban 70% volt.

A teljes tenyészidőszakban 284 mm csapadék hullott, amely önmagában nem elégíti ki az ipari paradicsom teljes vízigényét, azonban nem igényel olyan jelentős kiegészítést, mint egy száraz évben. Július hónapban 125 mm csapadék volt mérhető, melynek nagy része, összesen 104 mm július 15. és 20. között esett, ezen időszakban két alkalommal is volt kimagaslóan nagy mennyiségű (35 mm, 45mm) csapadék. Az öt nap alatt lehulló nagy mennyiségű csapadék közvetlen egy öntözési alkalmat követően érkezett, emiatt nehéz meghatározni a gyökérzónába beszivárgott és ott megtartott mennyiséget, ugyanakkor a teljes vízfelhasználásba beleszámított, így torzítva az eredményeket. Az AquaCrop modell szimulációja alapján a tenyészidőszakban 14,5 mm volt a felszíni elfolyás, illetve 125,6 mm a mélybeszivárgás a V100 kezelésben. Jellemzően a június közepétől július közepéig tartó periódusban volt hatása a vízdeficit öntözési kezelésnek.



9. ábra: Meteorológiai adatok és a kezelések vízellátottságának változása a 2021-es tenyészidőszakban. A vízellátás a teljes tápoldatozással, öntözéssel kijuttatott mennyiségeket, illetve a természetes csapadékokat foglalja magában.

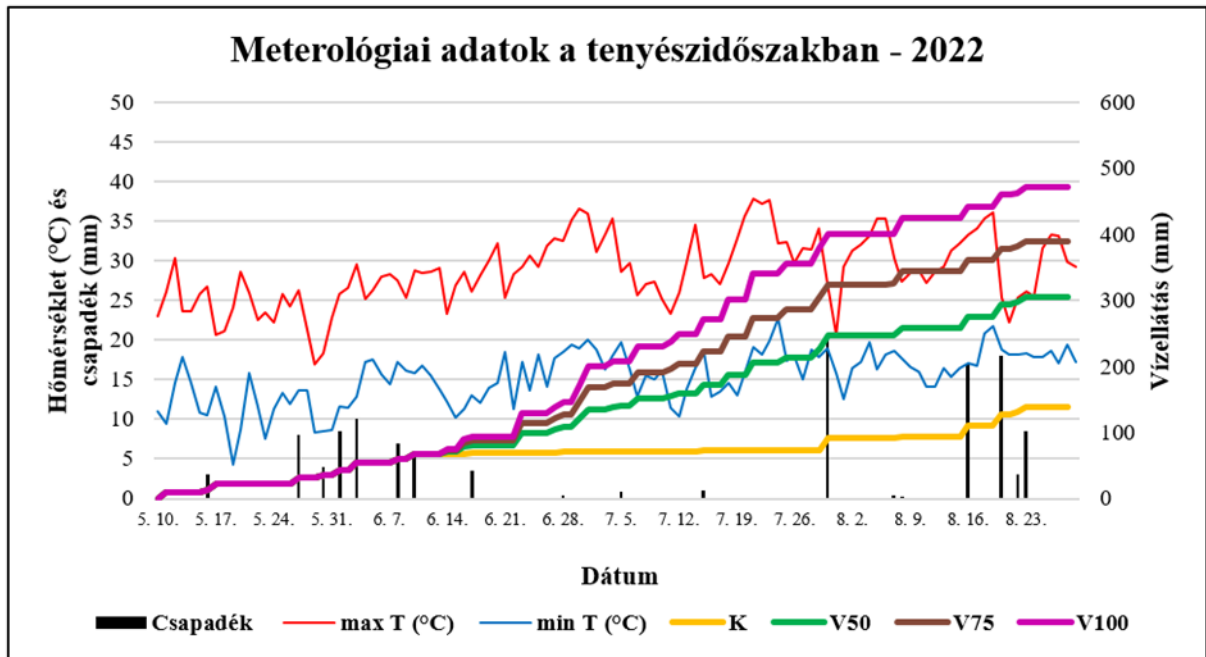
4.1.2. A 2022 –es tenyészidőszak meteorológiai adatai

A 2022-es tenyészidőszakot (10. ábra) szinte végig a forróság és az aszály jellemezte. A tenyészidőszak során összesen 119 mm csapadék hullott, 165 mm-rel kevesebb, mint az előző szezonban. Május végén és június elején összesen 50 mm esett. Jelentősebb csapadék július 30-án (20 mm), valamint augusztus végén volt.

A hőmérséklet is a megszokottól jóval többször mutatott magas értékeket. Már a kiültetéstől (május 10.) kezdve magas volt a hőmérséklet, az egész szezonban csak két nap (június 29. és 30.) volt 20°C alatti a maximum. 30 °C feletti maximum 39 alkalommal volt, 35 °C feletti hőmérsékletet 12 alkalommal mértem. A legmagasabb hőmérséklet július 21. és 23-a között volt, ekkor a maximumok 37 °C felett voltak, ezek a forró és aszályos napok a növény fontos fenofázisaiban voltak, mint a virágzás és bogyófejlődés. A minimumok 10-20 °C mozogtak.

A relatív páratartalom a tenyészidőszakban 35% és 80% között mozgott, átlagban 58% volt, ami az előző évhez képest 12 %-kal kevesebb.

Mindezt összegezve megállapítható, hogy a vizsgálatok két eltérő évjárattípusban történtek, mivel a 2021-es csapadékos, míg a 2022-es forró, száraz volt.



10. ábra: Meteorológiai adatok és a kezelések vízellátottságának változása a 2022-es tenyésztidőszakban. A vízellátás a teljes öntözéssel kijuttatott mennyiségeket, illetve a természetes csapadékot foglalja magában.

4.2. A talajnedvesség változása a tenyésztidőszakban

4.2.1. Talajnedvesség alakulása 2021-ben

Mindkét tenyésztidőszakban a különböző kezelések során kijuttatott vízmennyiségek a talajnedvesség mérés alapján lettek megállapítva, ahogy azt az Anyag és módszer részben is említettem.

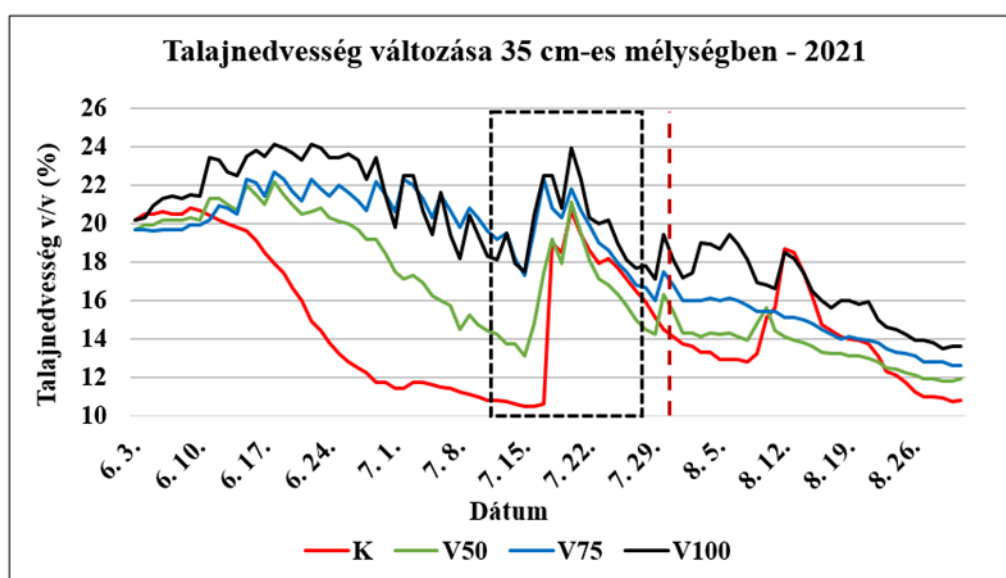
A 35 cm mélységben elhelyezett talajnedvesség mérőeszköz által mért adatok alapján látható, hogy 2021-ben minden kezelés azonos szintről indult a szezon elején, majd az öntözés kezdetétől a kiadagolt öntözővíz mennyiségeknek megfelelően a kezelések elkülönültek egymástól.

A (11. ábra) tenyésztidőszakban végig megfigyelhető, hogy a V75 és V100 kezelések talajnedvességszintjei hasonlóak.

A vízdeficit öntözési kísérletet eredményesen csak egy hónapig lehetett folytatni, hiszen a július 15-20. között lehullott nagy mennyiségű, 104 mm csapadéknak köszönhetően a kialakított talajnedvességszintek közötti különbségek kiegyenlítődték, ahogy azt az ábrán bekeretezve is kiemelttem. Valószínű, hogy a V75, illetve a V100 kezelések a szükséges feletti vízpótlásban részesültek, hiszen a csapadék az öntözés után érkezett. A többletvíznek ebben az esetben

termést növelő eredménye nem várható. Az öntözési kísérlet befejezését követően, augusztus 2-től, a deficit öntözésű kezelések V50 és V75 csökkenni kezdtek, a V100 pár napig közel azonos szinten volt, majd az is csökkenni kezdett. Az augusztus 8-án hullott csapadék hatására a K nagymértékben emelkedett, sőt el is érte a 100%-os vízellátottságú kezelés szintjét, a V100 és V75 kisebb mértékben emelkedett. A tenyészidőszak további szakaszában minden növényállomány talajnedvességszintje egyenletesen csökkent.

A csapadék, tápoldatozás, valamint az öntözés során kijuttatott vízmennyiségek (teljes vízellátás) az egyes kezelésekben a következőképpen alakultak a tenyészidőszak során, K – 345 mm, V50 – 451 mm, V75 – 505 mm, V100 – 557 mm. Ezekből a minden kezelésben egységes, tápoldatozással kijuttatott mennyiség 61 mm volt. A modell által számított növényi ET 437 mm volt.



11. ábra: Talajnedvesség változása a 2021-es tenyészidőszakban. A függőleges, piros, szaggatott vonal az utolsó öntözés időpontját jelöli. A szaggatott vonallal kialakított keret az egy hetes, extrém csapadékos időszakot jelöli.

4.2.2. Talajnedvesség alakulása 2022-ben

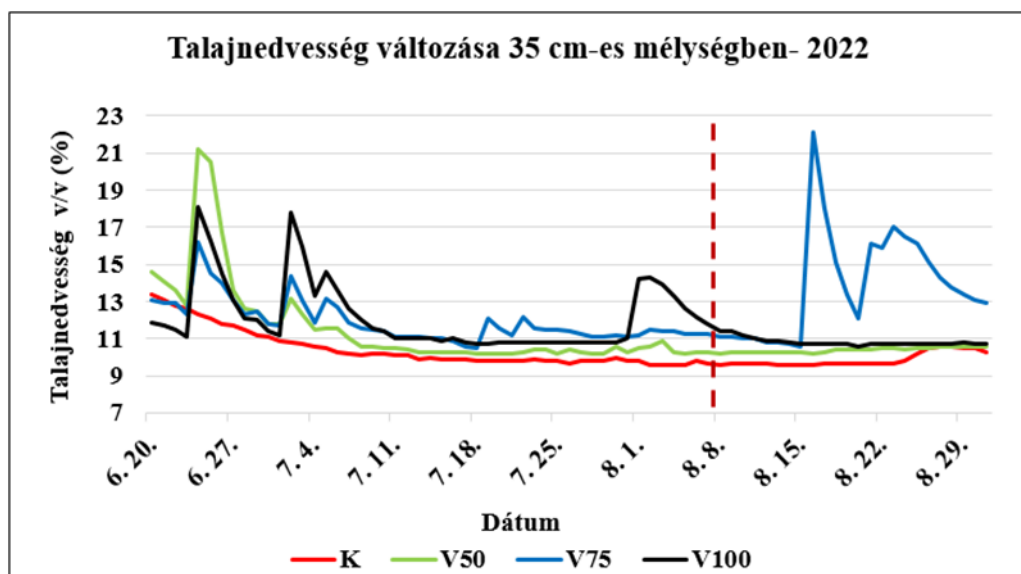
A 2022-es kísérletben (12. ábra) a talajnedvesség változás teljesen eltért az előző évi tendenciától, hiszen akkora mértékű különbségeket nem tapasztaltam a beállítások között, mint 2021-ben. Ennek oka, hogy alacsonyabb talajnedvesség értékek jellemezték a kezeléseket 2021-hez képest.

Az öntözés kezdetén mindegyik kezelés 12 és 15% közötti talajnedvesség szintről indult. A kontroll az egész tenyészidőszakban a legkisebb értékét mutatta 8-13% között mozgott végig, a vizsgált intervallum legnagyobb részében mindössze 8-9%-os érték volt mérhető. Az öntözési kezelés beállítását követően július elejétől alakultak ki az elvárt különbségek a talajnedvességben a 35 cm-es mélységben mért adatok szerint. Július 10-től kezdve azonban a szondák által mért értékek nem reagáltak az öntözésre annak ellenére, hogy a vízpótlás folyamatos volt egészen augusztus 8-ig. Két napon, július 19-én és 22-én minimális reakció figyelhető meg a V75 kezelés értékeiben, azonban a legnagyobb vízádagokkal kezelt V100 csak augusztus elején mutatott emelkedést. A július 30-án bekövetkezett 20 mm-nyi természetes csapadékra egyik szonda sem reagált. Az augusztus 16. és 20-án, illetve az azt követő természetes csapadékokra is mindössze a V75 kezelésbe kihelyezett talajnedvesség mérő reagált. Ennek okai lehetnek, hogy a vízpótlásokat már a 35 cm feletti talajrétegből felhasználták a növények. Előfordulhat, hogy a gyorsan kiszáradó talaj és a szonda fémpálcái között megszűnt a megfelelő kontaktus, ami hibás méréseket eredményezett. További oka lehet, hogy a forróság miatt okozta hőtágulásból kifolyólag a csepegtető szalagok hosszváltozása miatt eltávolodtak a közvetlenül a sorok alá telepített szenzorok fölül, így a nedvesített rész nem érte el a szenzorokat.

A tenyészidőszak során a csapadék és öntözés által kijutatott vízmennyiségek kezelésenként az alábbiak szerint alakultak:

K – 139 mm, V50 – 306 mm, V75 – 390 mm, V100 – 472 mm.

A modellben számított növényi ET 473 mm volt.



12. ábra: A talajnedvesség változása a 2022-es tenyészidőszakban. A függőleges, piros, szaggatott vonal az utolsó öntözés időpontját jelöli.

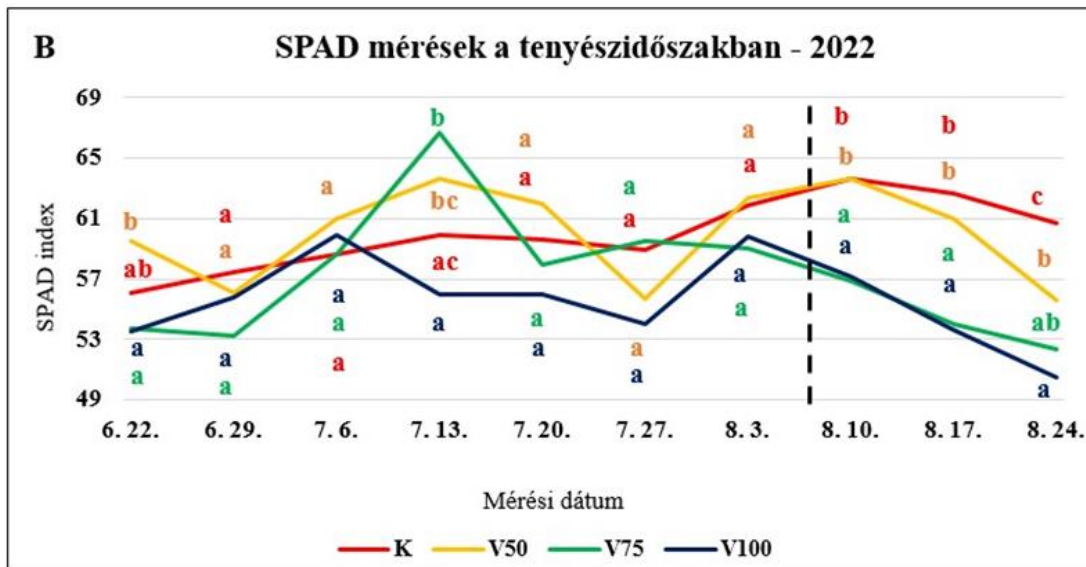
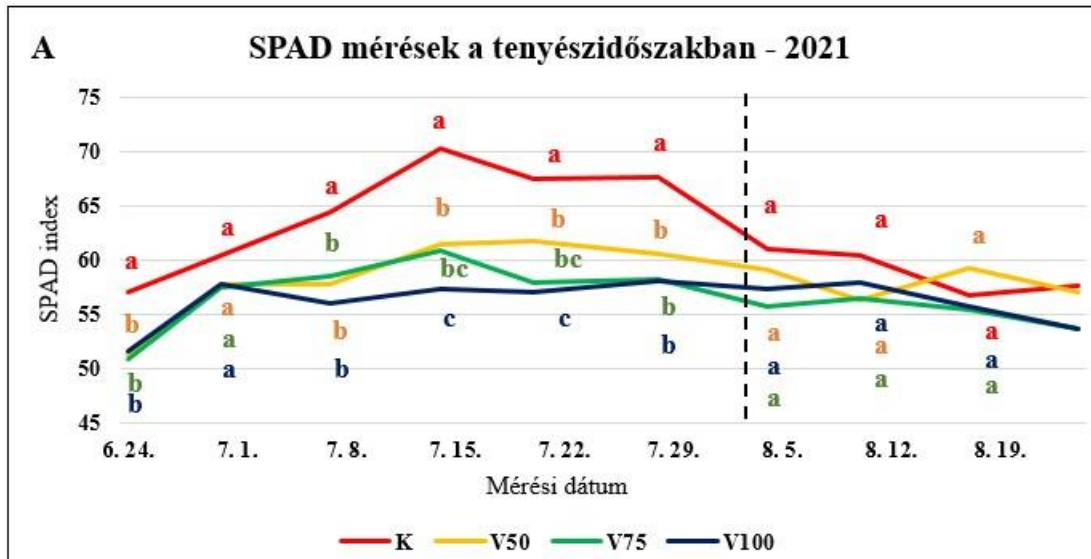
4.3. Vízellátottság hatása a paradicsom lombjának spektrális tulajdonságaira

4.3.1. SPAD mérések adatai

A tenyészidőszak során a különböző vízellátottsági szintek a levél relatív klorofill-tartalmára gyakorolt hatását a SPAD mérőműszer által mért adatok kiértékelésével vizsgáltam.

A 2021-es mérések során már az első alkalommal, a Tukey-teszt alapján is jól látható eltérés mutatkozott az öntözött és öntözetlen állományok relatív klorofilltartalma között, bár a kezelések (V50, V75, V100) között nem tudott különbséget tenni (13. ábra (A)). A következő időpontban egyik sem, azonban az azt követő négy mérés során az öntözött és öntözetlen állományok elkülöníthetők voltak. A 3. és a 6. időpontban az elsőhöz hasonlóan a kontroll és az öntözött beállítások között figyelhető meg eltérés. A július 15-i és 22-i mérések alkalmával a 0%, 50% és 100%-os vízellátottságú kezelések teljesen elkülöníthetők egymástól, azonban a V75 beállítás nem különbözött sem a V50-től, sem a V100-tól szignifikánsan. Augusztusban a betakarításig tartó tenyészidőszakban, az öntözés befejezését követően (augusztus 2.) a négy beállítás között a Tukey-teszt nem mutatott szignifikáns különbséget, a grafikonon csökkenő tendencia figyelhető meg ezen időszakban.

A 2022. évi kísérlet (13. ábra (B)) során az előző évvel szemben a vízellátottsági szintek elkülönítése nem volt hatékony a műszerrel, hiszen a tenyészidőszak során 10 mérésből 5 alkalommal nem volt tapasztalható szignifikáns különbség az eltérő kezelések között. Az öntözési szezonban a június 22-i és július 13-i mérések Tukey-teszt által kimutatott eltérései nem voltak a vízellátottsági szintekhez köthetők. Az öntözés befejezését követően augusztus 10-én és 17-én a két nagyobb stresszhatással rendelkező kezelés K és V50 magasabb értékeket mutatott, mint a másik két kevésbé, illetve nem stresszelt növényállomány, amelyek közel hasonló értékeket vettek fel. Az utolsó mérés alkalmával augusztus 24-én a K, V50 és V100 kezelések szignifikánsan elkülönültek, a V75 beállítás és a másik két öntözött növényállomány között nem volt statisztikailag igazolható különbség.



13. ábra: SPAD mérési eredmények a tenyésztidőszakban a Tukey-teszt eredményeivel 2021-ben (A), 2022-ben (B). Az eltérő betűk szignifikáns különbséget jelentenek ($p < 0,05$). A szaggatott vonal az öntözési szezon végét jelöli.

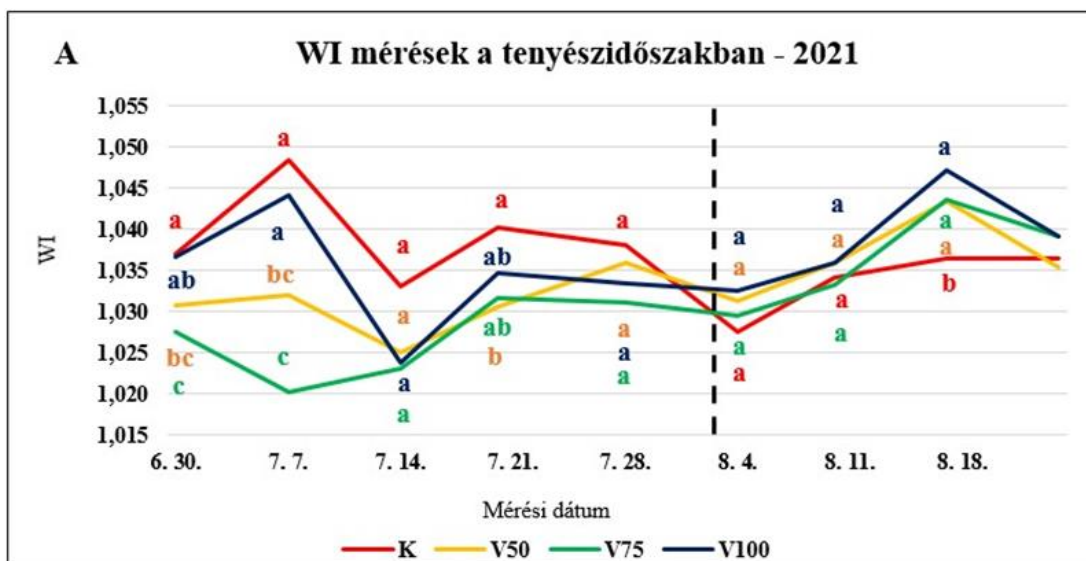
4.3.2. Vízstressz hatása a vegetációs indexekre

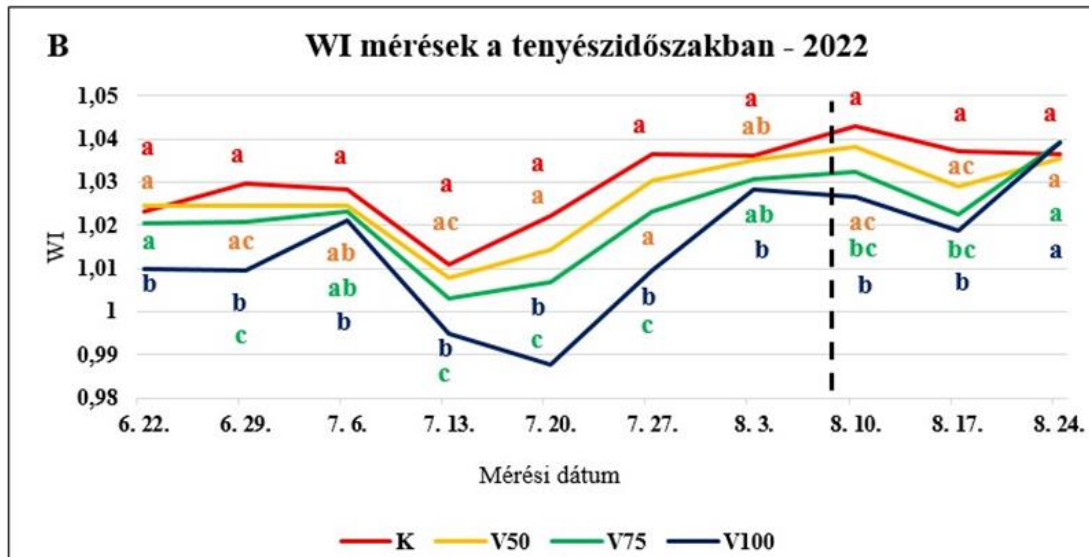
A következőkben az általam vizsgált hét VI, a WI, PRI, NDVI, mNDVI, CIgreen, CIred-edge és PSRI értékeinek változását mutatom be, hogy azok hogyan reagáltak a paradicsom eltérő vízellátottságára, illetve egyéb környezeti változásokra.

4.3.2.1. A WI-index mérési eredményei

A 2021-es tenyészidőszakban a WI index az első két mérés alkalmával eltérést mutatott a kezelések között (14. ábra (A)). Mindkét időpontban, június 30-án és július 7-én a K és a V75 kezelés szignifikánsan elkülönült egymástól. A V50 beállítás azonban egyik esetben sem különült el a K és V75 növényállományoktól a WI-t tekintve. A V100 kezelés sem a K, sem a V50 beállítástól nem mutatott eltérést. A szezon további mérési eredményei esetén a Tukey-teszt nem mutatott szignifikáns eltérést, kivéve az augusztus 18-i mérés esetében, amikor a K jelentősen eltért az öntözött kezelésektől. A tenyészidőszak folyamán a vízellátottsági szintekkel magyarázható eltérések nem jelentek meg a 2021-es évben.

A második kísérleti évben 2022-ben (14. ábra (B)) hatékonyabbnak bizonyult az index. Négy mérés alkalmával, június 29-én és július 13-án, 20-án, 27-én a Tukey-teszt szignifikáns különbséget mutatott a K, V75 és V100 kezelések között, ezen víztartalommal összefüggő korrelációt már számos kísérlet is bizonyította (Ihouma és Madramootoo, 2019; Ihouma és Madramootoo, 2020; Alordzinu et al., 2021). A V50 beállítás nem mutatott eltérést sem kontrolltól, sem a V75 beállítástól. Szintén négy mérés során (július 6., augusztus 3., 10., 17.) a K és V100 növényállományok jelentősen eltértek egymástól, azonban a vízdeficit öntözési kezelések egyik esetben sem mutattak különbséget a másik két kezeléstől. Az index eltérő képet mutatott a két különböző évjáráttípusban.





14. ábra: WI-index mérési eredmények a tenyésztidőszakban a Tukey-teszt eredményeivel 2021-ben (A), 2022-ben (B). Az eltérő betűk szignifikáns különbséget jelentenek ($p < 0,05$). A szaggatott vonal az öntözési szezon végét jelöli.

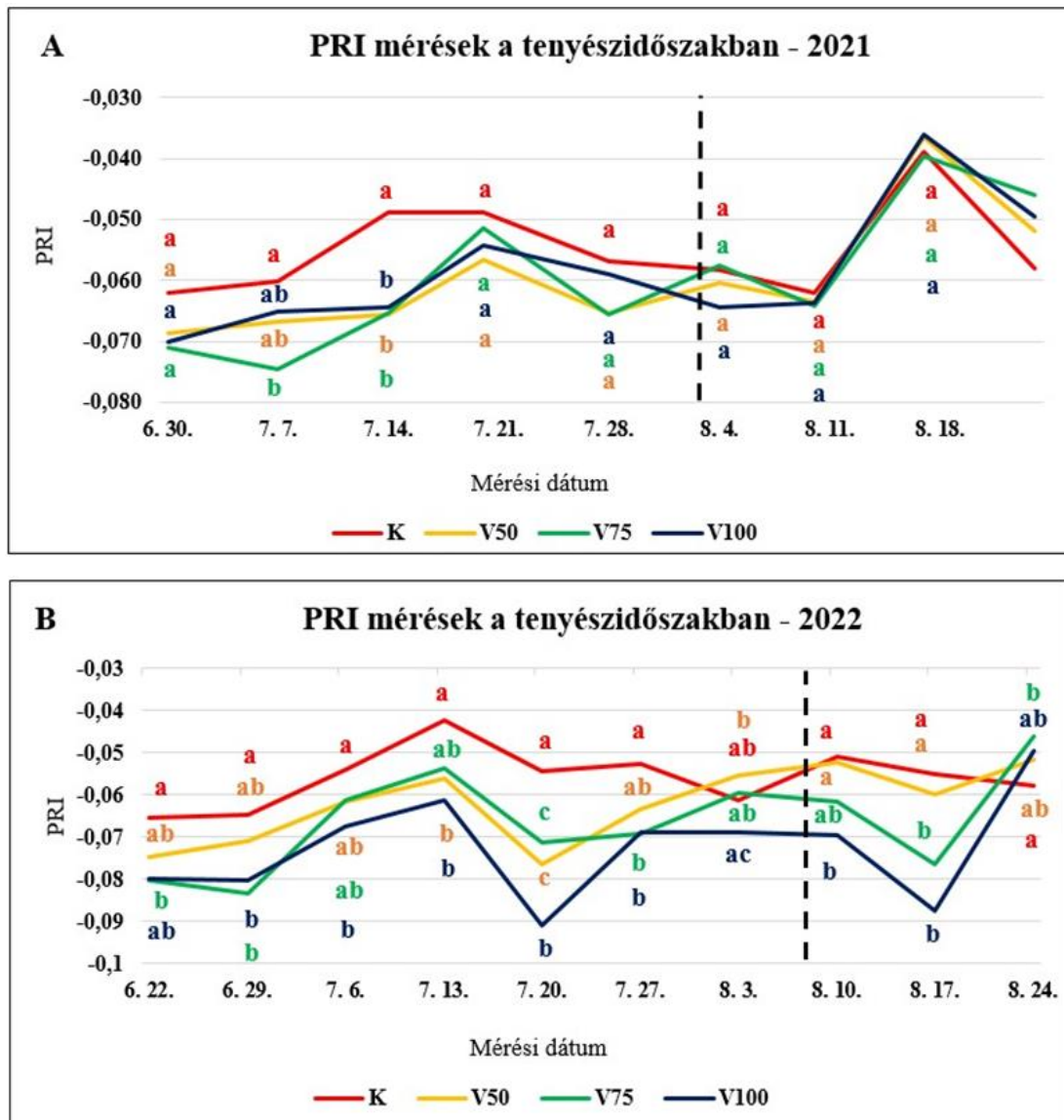
4.3.2.2. PRI-index mérési eredményei

A fotokémiai reflexiós index esetében az első tenyésztidőszakban (2021) két mérés alkalmával tapasztaltam jelentős eltéréseket a kezelések között (15. ábra (A)). Július 7-én a K jelentősen eltért a V75 kezeléstől, azonban sem a V50 sem a V100 beállítás nem mutatott különbséget a másik két növényállománytól. Ezt követően július 14-én az öntözött és öntözetlen kezelések szignifikánsan elkülönültek egymástól. A szezon további időszakában a Tukey-teszt nem mutatott szignifikáns eltérést a beállítások között.

A 2022-es monitoring időszakban az öntözés során a K a legtöbb esetben szignifikánsan elkülönült az öntözött kezelésektől (15. ábra (B)). A különböző vízellátottsági szintekkel leginkább magyarázható eredményeket július 20-án sikerült mérni, amikor a vízdeficit öntözésű és a V100 kezelések is szignifikánsan elkülönültek.

Ugyancsak ezekben a napokban érte el a napi hőmérséklet a legmagasabb maximumokat. A szezon további négy mérése során (július 17., augusztus 3., 10., 17) a legnagyobb és közepes stresszhatással rendelkező K és V50 beállítások hasonló értékeket mutattak, valamint statisztikailag sem volt köztük jelentős eltérés. Ugyanezen időpontokban a V75 és V100 kezelések között sem volt kimutatható szignifikáns különbség, azonban több esetben elkülönültek a másik két kezeléstől. Az utolsó mérési időpontban, négy héttel az utolsó öntözési időpont után a V75 és V100 kezelések növényállományai kis mértékben meg is haladták a V50 és K kezelésekben mérhető PRI értékeket. Alordzinu és társai (2021) üvegházban végzett

kísérlet során bizonyították a víztartalommal összefüggő korrelációt, amelyet kutatásomban inkább a második év eredményei alapján tapasztaltam.

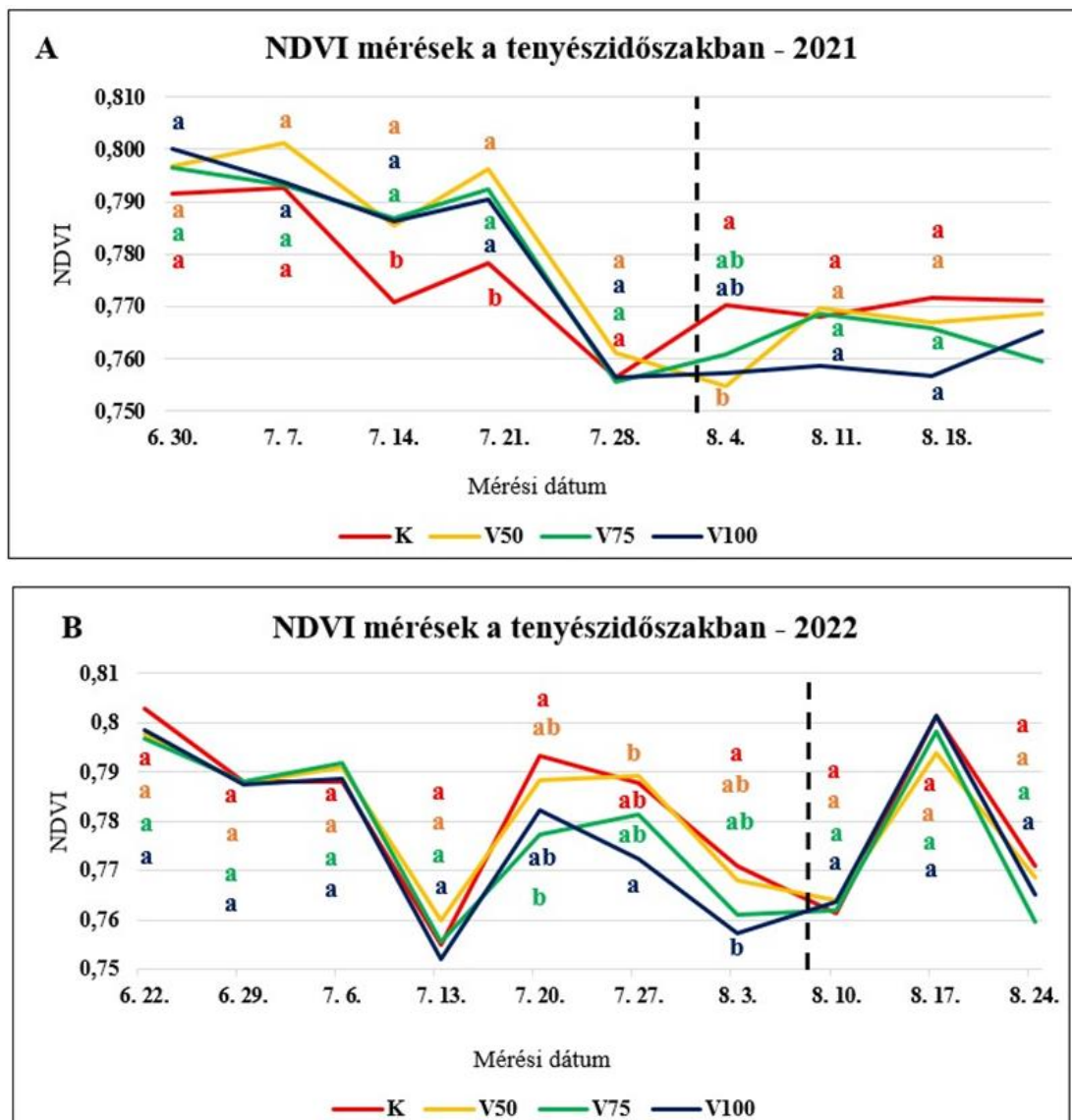


15. ábra: PRI-index mérési eredmények a tenyésztidőszakban a Tukey-teszt eredményeivel 2021-ben (A), 2022-ben (B). Az eltérő betűk szignifikáns különbséget jelentenek ($p < 0,05$). A szaggatott vonal az öntözési szezon végét jelöli.

4.3.2.3. NDVI-index mérési eredményei

Az NDVI index mindkét évben 0,75 és 0,81 közötti értékeket vett fel (16. ábra (A)). A 2021.évi kísérletben két alkalommal július 14-én és 21-én tapasztaltam szignifikáns különbséget a K és az öntözött kezelések között. Az augusztus 4-i mérés kivételével, ahol a K és V50 jelentősen elkülönült, nem tapasztaltam semmilyen eltérést a vízellátottsági szintek között és ez a különbség nem köthető az öntözési kezelésekhöz.

A második kísérleti évben (2022) július végén és augusztus elején volt tapasztalható eltérés (16. ábra (B)). Az augusztus 3-i mérés eredménye illeszkedett legjobban a növekvő vízellátáshoz, amikor a K és a V100 kezelés szignifikánsan elkülönült, azonban a vízdeficit öntözésű beállítások nem mutattak szignifikáns eltérést. A többi mérés során az előző évhez hasonlóan a Tukey-teszt semmilyen eltérést nem mutatott a vízellátottsági szintek között, mind a négy kezelés egyformán változott, ellentétben számos tanulmánnyal (Genc et al., 2011, Alordzinu et al., 2021), amelyekben az index hatékony korrelációt mutatott a kijutatott öntözővízmennyiségekkel.

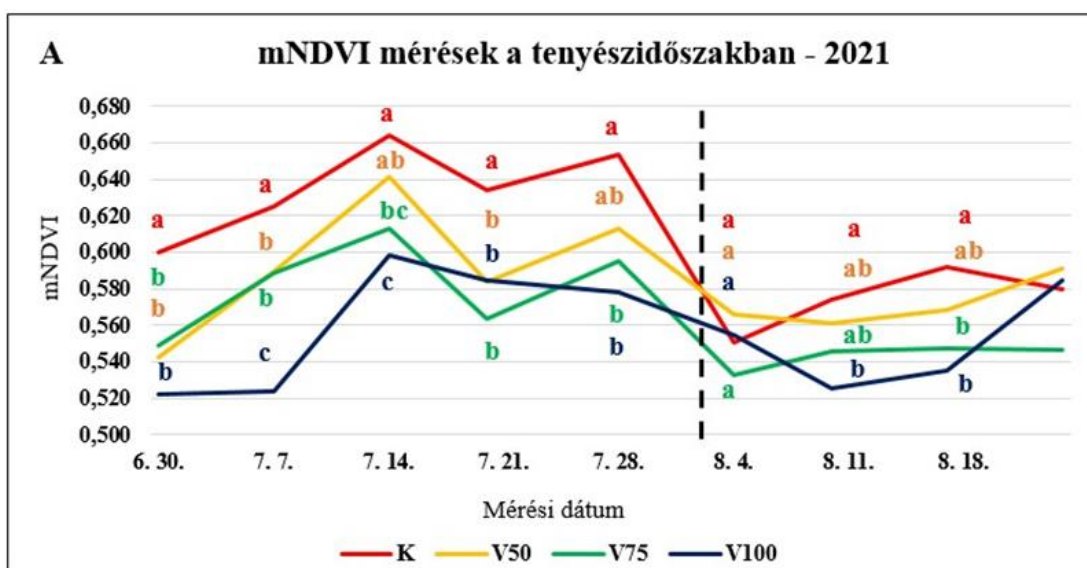


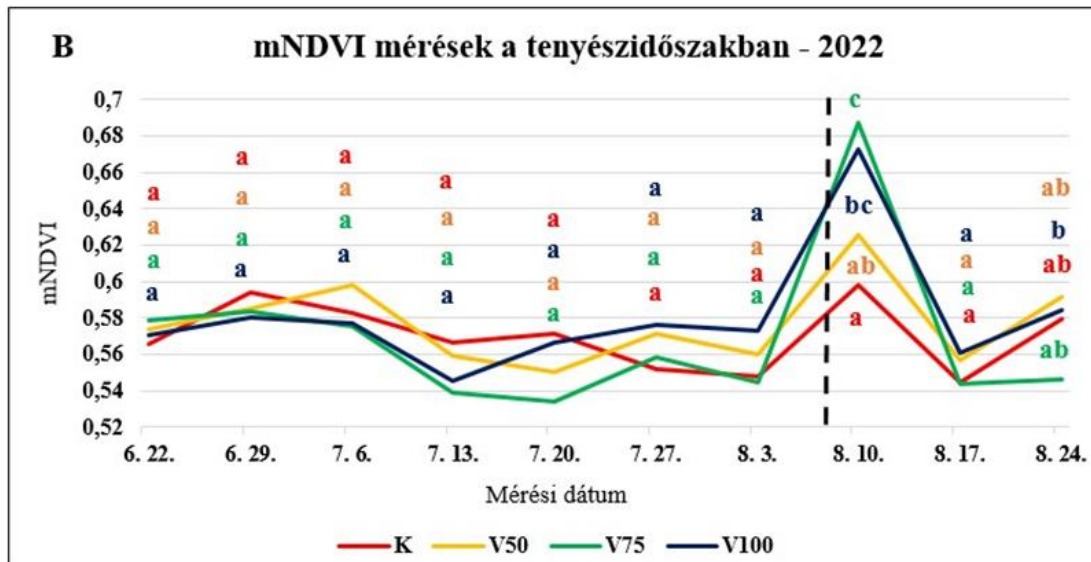
16. ábra: NDVI-index mérési eredmények a tenyészidőszakban a Tukey-teszt eredményeivel 2021-ben (A), 2022-ben (B). Az eltérő betűk szignifikáns különbséget jelentenek ($p < 0,05$). A szaggatott vonal az öntözési szezon végét jelöli.

4.3.2.4. mNDVI-index mérési eredményei

Az első tenyészidőszakban (2021) hatékonynak bizonyult az mNDVI-index, hiszen az öntözési szezonban minden alkalommal elkülönítette a kontrollt a többi öntözési kezeléstől, kivéve a V50 kezelést, ahol a különbség nem minden esetben volt szignifikáns (17. ábra (A)). Július 7-én és 14-én a K és V100 kezelések szignifikánsan elkülönültek, azonban a vízdeficit öntözésű kezelések nem mutattak eltérést egymástól, illetve 14-én a K és V100 kezeléstől. Az öntözés befejezését közvetlen követően az augusztus 4-i mérés során eltérést nem tapasztaltam valószínű, hogy a nagy mennyiségű csapadék eredményeképpen. A további mérések során augusztus 11-én a K és V100 kezelés szignifikánsan elkülönült, azonban a vízdeficit öntözésű beállítások nem mutattak eltérést. Az augusztus 18-i mérés alkalmával a K jelentős különbséget mutatott az öntözött kezelésektől, azonban a vízellátottsági szintek között már nem volt kimutatható különbség a post-hoc teszt által.

A 2022-es aszályos tenyészidőszakban két mérés alkalmával tapasztaltam eltéréseket, azonban azok sem voltak jelentősek (17. ábra (B)). Az egyik ilyen eltérés az augusztus 10-i mérés alkalmával figyelhető meg, mely során mind a négy kezelés esetében nagymértékű növekedést tapasztaltam, ami lehet a július végi 20 mm csapadék késleltetett, valamint a maximum hőmérséklet csökkenésének eredménye. A többi alkalommal a Tukey-teszt különbségeket nem mutatott a növényállományok között, a négy kezelés az öntözési szezonban közel egyforma értékeket vettek fel. Alordzinu és társai (2021) által végzett kísérlet során megfigyelhető ezen index esetén is megfigyelhető víztartalomhoz kapcsolódó korrelációt, kutatásomban az első, csapadékos évben tapasztaltam.





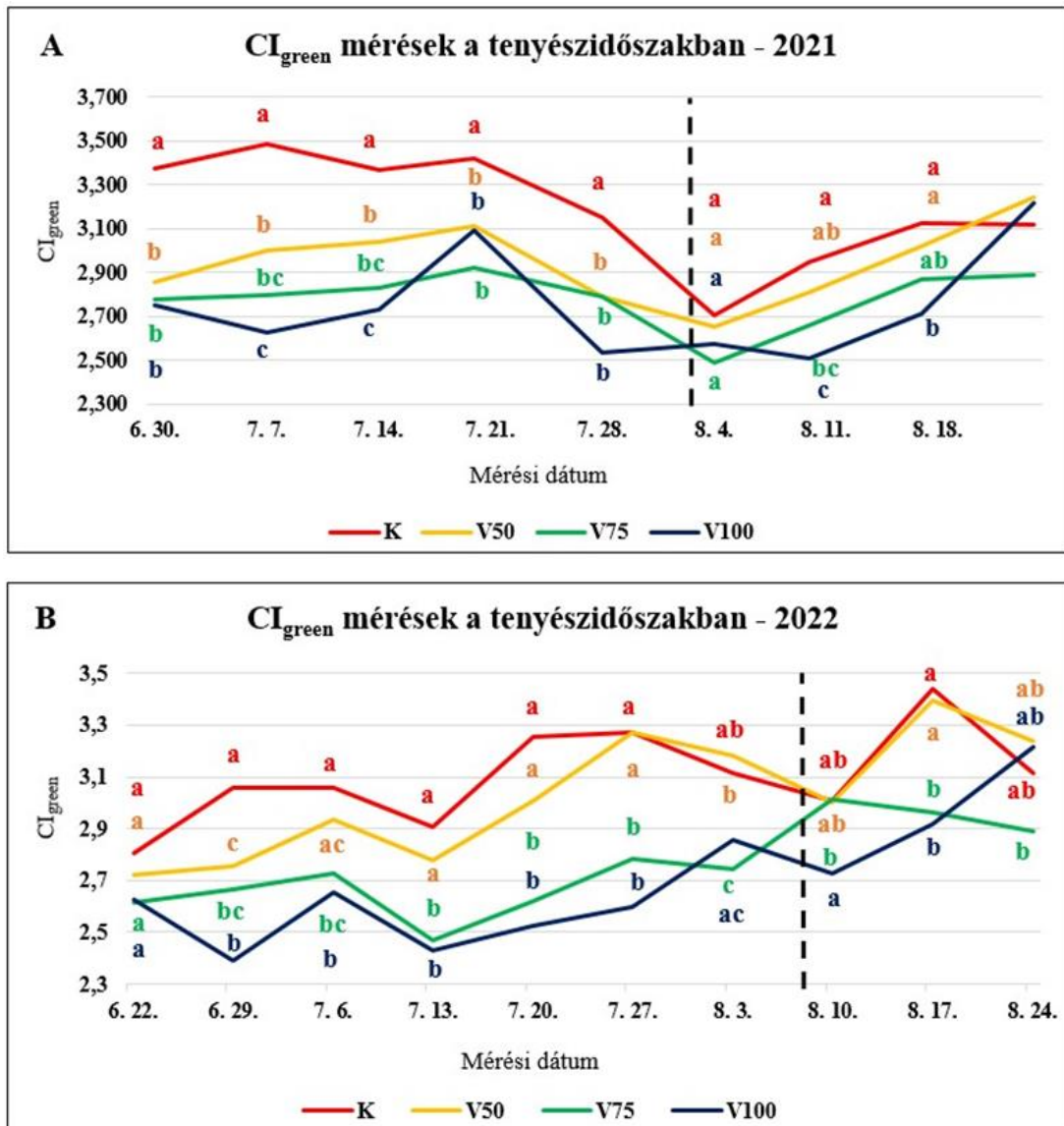
17. ábra: mNDVI-index mérési eredmények a tenyésztidőszakban a Tukey-teszt eredményeivel 2021-ben (A), 2022-ben (B). Az eltérő betűk szignifikáns különbséget jelentenek ($p < 0,05$). A szaggatott vonal az öntözési szezon végét jelöli.

4.3.2.5. CI_{green} -index mérési eredményei

A CI_{green} index 2021-ben az mNDVI indexhez hasonlóan az öntözési szezonban minden alkalommal szignifikánsan elkülönítette a K-t az öntözött kezelésektől (18. ábra(A)). Szignifikáns különbség figyelhető meg a V50 és V100 kezelése között július 7-én és 14-én. A nagy mennyiségű csapadékot követően július 21-i mérés után mindegyik növényállomány esetében csökkenést tapasztaltam. Az augusztus 4-i mérés alkalmával az mNDVI-hoz hasonlóan nem tapasztaltam különbséget, mely valószínű a talajnedvesség kiegyenlítődségének eredménye. Az utolsót megelőző két mérés során a K és a V100 beállítás jelentősen elkülönült, azonban a deficit öntözésű kezelések nem mutattak eltérést.

A második kísérleti év első mérési időpontjában nem mutatott különbséget a post-hoc teszt a kezelések között (18. ábra (B)). A június 29-i mérés során a K, V50 és V100 kezelése szignifikánsan elkülönültek egymástól, azonban a V75 beállítás nem mutatott eltérést a két öntözött növényállománytól. A következő alkalommal július 6-án a K és a V100 jelentősen eltértek, azonban a deficit öntözési kezelése nem mutattak szignifikáns különbséget. Az öntözés befejezését megelőző mérés alkalmával a két deficit öntözésű kezelés is szignifikánsan elkülönült, sőt a V75 kezelésben alacsonyabb értékek voltak mérhetőek, mint a V100-ban, ugyanakkor a V50 kezelés CI_{green} értékei meghaladták a kontrollban mérhető szintet. Az augusztus 10-i mérés során három kezelés a K, V50 és V75 ugyanazt az értéket vette fel (3,00), hiszen a K és V50 értékei a korábbi magasabb szintről csökkentek, a V75 viszont emelkedett.

Ez lehetett a július 30-án hulló egyetlen jelentős csapadékesemény (20 mm) kései hatása vagy a hőmérséklet kismértékű csökkenésének is az eredménye. A betakarítás előtt közel 2 héttel a K és V50, valamint a V75 és V100 kezelések hasonló értékeket vettek fel és a két-két kezelés között a Tukey-teszt nem mutatott jelentős különbséget. A mindkét évben megfigyelhető víztartalommal kapcsolatos korrelációt tapasztalták Aasmi és társai (2022) által choy sum, vagyis kínai virágos káposztával végzett kísérlet során is.

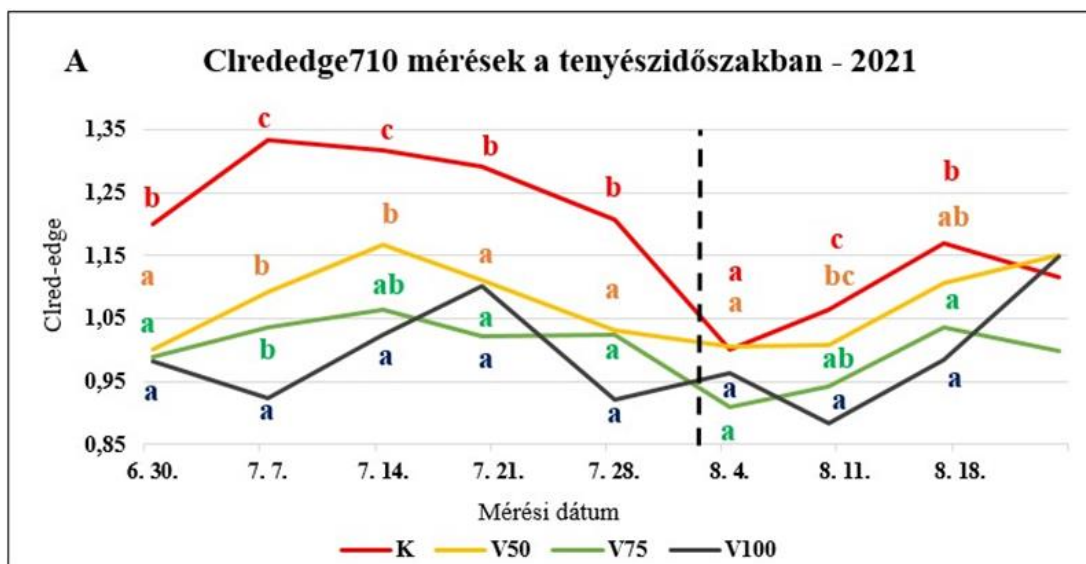


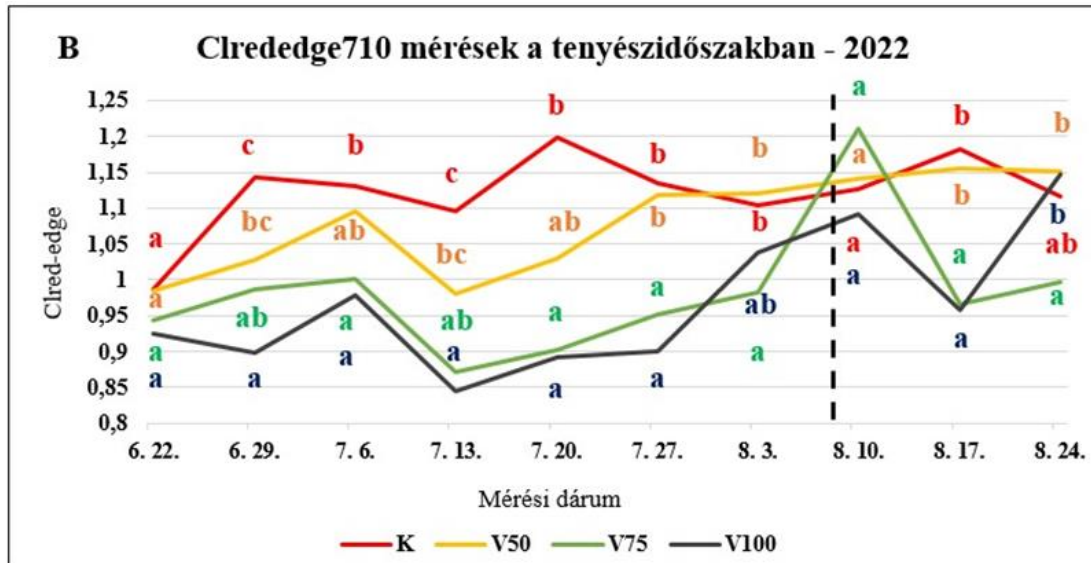
18. ábra: CI_{green} -index mérési eredmények a tenyésztidőszakban a Tukey-teszt eredményeivel 2021-ben (A), 2022-ben (B). Az eltérő betűk szignifikáns különbséget jelentenek ($p < 0,05$). A szaggatott vonal az öntözési szezon végét jelöli.

4.3.2.6. *CIrededge index mérési eredményei*

Az első kísérleti évben a két fentebb taglalt indexhez (mNDVI, CI_{green}) hasonlóan az öntözési szezonban minden alkalommal az öntözött kezelések szignifikánsan elkülönültek az öntöztentől a $CI_{rededge}$ index értékei szerint (19. ábra (A)). A deficit öntözéssel kezelt V50 és V75 július 7-én, 14-én és augusztus 11-én jelentősen eltértek a V100 beállítástól. A csapadékos időszak hatása érvényesült ezen index esetében is, hiszen július 21-től csökkenést tapasztaltam, és augusztus 4-én szintén nem volt eltérés a vízellátottsági szintek között.

A 2022. évi kísérletben az értékek a CI_{green} indexhez hasonló tendenciát követtek (19. ábra (B)), tehát az első alkalommal ezen index esetében sem volt statisztikailag kimutatható eltérés a kezelések között. Négy mérés alkalmával június 29-én, július 6-án, 13-án és 20-án a K szignifikánsan eltért az öntözött kezelésektől, azonban a stresszelt kezelések között a Tukey-teszt jelentős eltéréseket nem mutatott. Az augusztus 10-i mérés során a kezelések között statisztikailag nem volt kimutatható különbség, azonban az értékek növekedést mutattak az egyetlen jelentős csapadékeseményt követően. Az augusztus 17-i mérés alkalmával a K-V50 és a V75-V100 kezelések közel azonos értékeket értek el és a post-hoc teszt sem mutatott jelentős eltéréseket a két-két kezelés között.



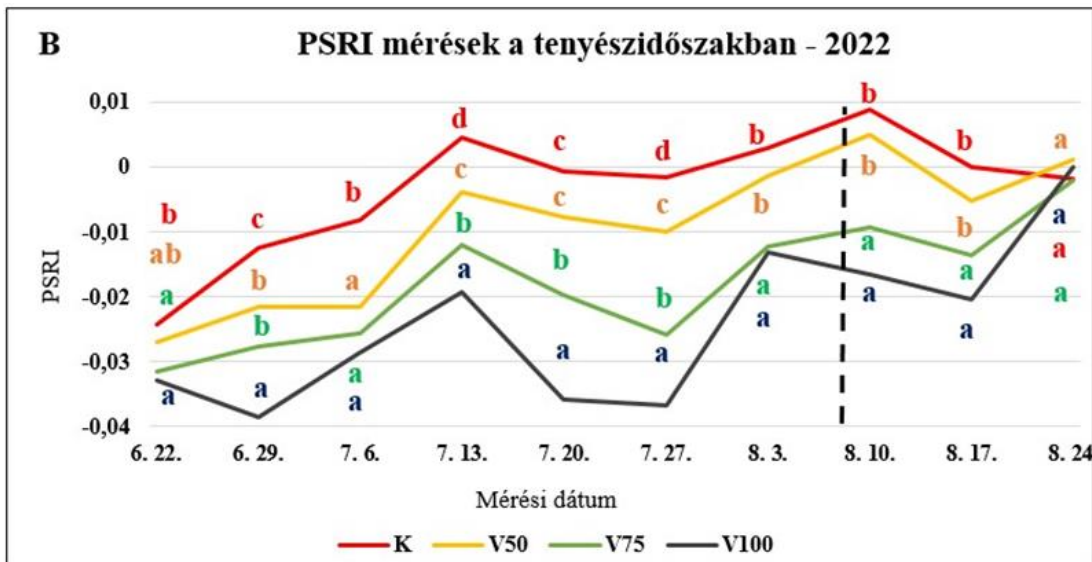
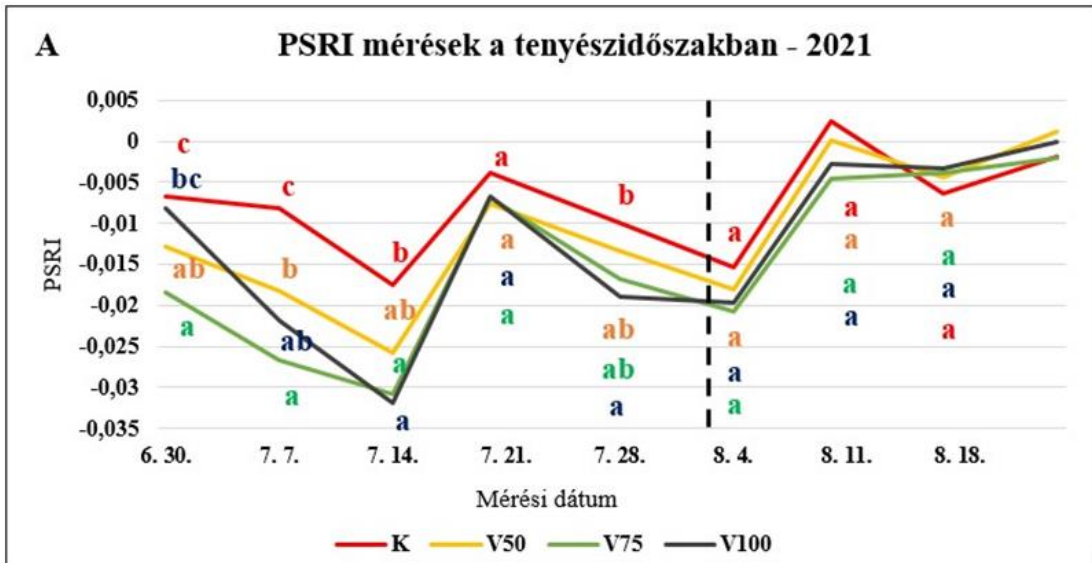


19. ábra: Clred-edge-index mérési eredmények a tenyészedőszakban a Tukey-teszt eredményeivel 2021-ben (A), 2022-ben (B). Az eltérő betűk szignifikáns különbséget jelentenek ($p < 0,05$). A szaggatott vonal az öntözési szezon végét jelöli.

4.3.2.7. PSRI-index mérési eredményei

A PSRI-index esetében az első kísérleti évben négy alkalommal különült el szignifikánsan a K és a V100 kezelés, a V50 és V75 beállítások nem mutattak szignifikáns eltérést egymástól (20. ábra (A)). A K, V50 és V100 növényállományok július 7-én jelentős különbséget mutattak. A többi alkalommal a Tukey-teszt nem mutatott eltérést a vízellátottsági szintek között, ezen időpontokban mind a négy kezelés közel azonos értékeket vett fel, ami a jelentős csapadék mennyiségeket követően volt jellemző.

A 2022-es tenyészedőszakban a K az öntözés során a legtöbb alkalommal jelentősen elkülönült az öntözött kezelésektől (20. ábra (B)). Június 29-én a K, a deficit öntözésű és a V100 kezelések jelentős eltérést mutattak. A K, V50 és V75 növényállomány esetén július 20-án a Tukey-teszt szignifikáns különbséget mutatott. Két alkalommal július 13-án és 27-én mind a négy kezelés szignifikáns eltérést mutatott. Az augusztus 3-tól a K és V50 nem mutatott eltérést, illetve a V75 a V100 kezelések sem, az öntözés befejezését követő harmadik hétre pedig már egyik kezelés között sem volt statisztikailag igazolható különbség. Želazny és Lukáš (2020) által olajrepcében végzett kísérlete során az index hatékonyan elkülönítette az öntözési kezeléseket egymástól, ami kutatásom mindkét évében megfigyelhető.



20. ábra: PSRI-index mérési eredmények a tenyészidőszakban a Tukey-teszt eredményeivel 2021-ben (A), 2022-ben (B). Az eltérő betűk szignifikáns különbséget jelentenek ($p < 0,05$). A szaggatott vonal az öntözési szezon végét jelöli.

5. Következtetések és javaslatok

A kísérlet során az öntözési szezonban a teljes vízfelhasználás számítása során a 35 cm-es mélységben elhelyezett talajnedvességmérő szonda által rögzített adatok alkalmazása mellett érdemes az AquaCrop modellben készített szimulációt is figyelembe venni, hiszen 2021-ben a nagy mennyiségű csapadék esetében következtetni lehet a felszíni elfolyás mértékére, melyet a műszer nem tud mérni, valamint a mélybeszivárgás mennyiségét is becsülhetjük, így kapva pontosabb képet a növény által ténylegesen felhasznált víz mennyiségéről. A 2022-es szezonban a talajnedvesség szintek mérését nehezítették az aszályos napok, hiszen a kiadagolt vízmennyiségeket nem jelezték a mérők, mely abból is adódhat, hogy a meleg hatására a növények felhasználták a vízmennyiséget már a legfelső talajrétegből, valamint a gyorsan kiszáradó talaj miatt a szonda-talaj kontaktus nem volt végig kielégítő. A pontos öntözővízadagok kiszámításához a több mélységben elhelyezett szonda alkalmazása hatékonyabb lehetne, azonban mivel nem zárt körülmények között zajlik a kísérlet, így az időjárásnak való kitettség veszélye mindig fennáll.

A vízellátottság nyomon követésére alkalmazott spektrális mérések során a SPAD klorofill-mérő az első, csapadékosabb évjáratban hatékonyabbnak bizonyult, hiszen az öntözési szezonban a K és az öntözött kezelések elkülönültek, valamint két alkalommal az öntözési szintek között is mutatott eltérést. A szezon során a kiadagolt vízmennyiségeknek megfelelően vették fel az értékeket, tehát a K a legmagasabbakat, míg a V100 a legkisebbeket. Ezzel szemben az aszályos és meleg 2022-es szezonban az értékek a várt eredménytől eltérő tendenciát mutattak, valamint ellentétben az előző évvel statisztikailag jelentős eltéréseket sem tapasztaltam a kezelések között, melynek oka lehet a magas hőmérséklettel járó szélsőséges időjárás. Tehát a műszer a csapadékosabb, kevésbé meleg időjárás esetében, növényi vízellátottság követése céljából hatékonyabban alkalmazható. Mindkét évben nagymértékű szórást tapasztaltam, így nagyon fontos a nagyszámú mérés elvégzése a megfelelő átlag eléréséhez, továbbá a két év adatai alapján valamilyen határérték meghatározása a jó és rossz vízellátottságú növények megkülönböztetésére nehézkes lenne paradicsom esetében.

Az általam vizsgált 7 VI mindegyike mutatott kisebb-nagyobb összefüggést a növényi vízellátottsággal.

A WI index mérései során a 2022-es szezonban a vízstresszmonitoring hatékonyabbnak bizonyult, hiszen két alkalom kivételével a vízellátottsági szintek elkülönültek. A PRI-index is a második tenyészidőszakban mutatott jelentős eltéréseket a kezelések között. Tehát ezen indexek aszályosabb körülmények között teljesítettek jobban. Az NDVI kevésbé volt hatékony,

mint az előbb említett két index, azonban 2022-ben valamivel kifejezőbb eltéréseket mutatott, mint az előző évben a vízellátottsági szintek tekintetében. Többnyire azonban az NDVI értékek változása egységes volt a 4 kezelésben. Az mNDVI ezzel szemben a csapadékosabb évjáratú szezonban mutatkozott alkalmasabbnak a vízellátottsági szintek elkülönítésére, hiszen 2022-ben csak egy alkalommal volt statisztikailag kimutatható eltérés a kezelések között. Ez a VI mutatta a legszélsőségesebb különbséget a hatékonyságát tekintve a két különböző évjáratban. A CIgreen, CIrededge és a PSRI mindkét évben hatékonyan különítette el a kezeléseket. A második kísérleti évben a legmegfelelőbbnek a PSRI mutatkozott, amely mind a négy kezelés között, egy esetben szignifikáns különbséget mutatott.

A dolgozatomban vizsgált indexek többnyire a növény pigmenttartalmával (klorofill, xantofill) vannak szorosabb összefüggésben a hullámhosszak alapján. Vannak kifejezetten a víztartalomhoz köthető indexek, azonban ezek számításához nagyobb hullámhossztartományban érzékeny műszerre lenne szükség, amely kiterjed a középső infravörös tartományra is. Alordzinu és társai (2021) 531-2130 nm hullámhossz tartományban végeztek méréseket, amely lehetővé teszi több ilyen VI vizsgálatát. Kutatásukban több ígéretes eredményt közöltek a vízstressz kimutatására alkalmas VI-re vonatkozóan a paradicsom összes fejlődési szakaszában. Ezek további vizsgálata szabadföldi körülmények között értékes eredményekkel járulna hozzá a VI-k növényi vízállapot monitorozására való alkalmazásához. A mai forgalomban lévő távérzékelési eszközök alkalmazásával és azok fejlesztésével az öntözés hatékonysága növelhető. A precíziós gazdálkodás szempontjából fontos, hogy a kontaktmérések tapasztalatait egyéb, a térbeli eltéréseket is kimutatni képes, távérzékelési eszközöknél is hasznosítani tudjuk.

6. Összefoglalás

A paradicsom termesztése évről-évre növekvő tendenciát mutat, melynek okai a nagymértékű fogyasztás és az egyre inkább bizonyított, az emberi szervezetre gyakorolt jótékony hatása, ami a köztudatban is terjedni kezdett és várhatóan további növekedést von maga után. A termesztése öntözés nélkül nem gazdaságos, azonban a növények optimális vízellátását a szélsőséges időjárási tényezők nehezítik, valamint az öntözővíz készletek is korlátozott mennyiségben állnak rendelkezésünkre. Így olyan módszerek alkalmazására kell törekednünk, amelyek biztosítják a termés megfelelő kvantitatív és kvalitatív tulajdonságait. Az elmúlt években egyre nagyobb teret hódító precíziós öntözés egy ilyen módszer, melynek egyik kulcstényezője a növények aktuális vízellátottságának a nyomon követése, amely igen intenzíven kutatott terület, mind a gyakorlati kivitelezés, mind az alkalmazott műszerek terén.

A két éves kísérletemet 2021 és '22-ben is a Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem Kertészeti Tanüzemében állítottam be Gödöllőn, mely során négy eltérő (K-öntözővíz nélküli kontroll, V50-50%, V75-75%, V100-100%) vízellátottsági kezelés hatását vizsgáltam a teljes tenyészidőszakban heti rendszerességgel. A vízellátottság nyomon követését SPAD mérőműszerrel és ASD spektrométerrel végeztem, amely a forgalomban lévő legelterjedtebb műszerekhez hasonló tartományban mért, vagyis látható és közeli infravörös tartományokban (325-1075 nm). A két kísérleti év időjárási adottságai eltérőek voltak, hiszen 2021-ben csapadékos időjárás, míg 2022-ben aszály és forróság volt jellemző

A SPAD klorofill-mérő műszer alkalmasnak bizonyult a csapadékosabb 2021-es szezonban az öntözött és öntözetlen kezelések elkülönítésére, azonban a vízellátottsági szintek elkülönítésére nem a leghatékonyabb módszer. Az ASD FieldSpec HandHeld 2TM spektrométer által mért hullámhossztartományban detektálható reflektancia adatokból számítható, általam vizsgált 7 vegetációs index közül mindegyik mutatott kisebb-nagyobb összefüggést a növényi vízellátottsággal. A WI, PRI indexek a második, aszályosabb tenyészidőszakban teljesítettek jobban, hiszen több esetben hatékonyan elkülönítették a vízellátottsági szinteket. Az mNDVI a 2021-es szezonban volt hatékony az öntözött és öntözetlen kezelések elkülönítésére, viszont a forró, aszályos időjárás hatására alkalmatlan volt a vízellátottsági szintek elkülönítésére 2022-ben. A CIgreen, CIrededge és a PSRI indexek mindkét évben alkalmasak volt az eltérő kezelések elkülönítésére, az utóbbi mutatkozott a leghatékonyabbnak a második

tenyészedőszakban, amely során mind a négy kezelést szignifikánsan elkülönítette az egyik mérési alkalommal.

A további, kiterjesztett vizsgálatokhoz, a vízstressz hatékony és pontosabb kimutatásához szükség lenne egy nagyobb hullámhossztartományú mérőműszerre, mely kiterjed a középső infravörös tartományra is, hiszen ebben a tartományban több víztartalomra érzékeny csatorna található. Ugyancsak előnyös lenne térbeli vizsgálatok megtervezése az eddigi tapasztalatok figyelembe vételével, ahol az esetleges területi különbségek monitorozása és vízstressz kimutatása lenne a cél.

7. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani konzulensemnek Dr. Takács Sándornak, a kísérlet feltételeinek kialakításában, lebonyolításában és a dolgozat elkészülésében nyújtott szakmai segítséget, iránymutatást, végtelen türelmet és biztatást.

Szeretnék köszönetet mondani az Intézet munkatársainak és a Kertészeti Tanüzem dolgozóinak, akik hozzájárultak a kísérlet eredményességéhez.

Végül szeretném megköszönni családomnak és barátaimnak a türelmet és biztatást.

8. Irodalomjegyzék

- Al Aasmi, A., Alordzinu, K. E., Li, J., Lan, Y., Appiah, S. A., & Qiao, S. (2022). Rapid Estimation of Water Stress in Choy Sum (*Brassica chinensis* var. *parachinensis*) Using Integrative Approach. *Sensors*, 22(5), 1695.
- Balázs, S. (2004). Zöldségtermesztők kézikönyve. Mezőgazda Kiadó.
- Dangwal, N., Patel, N. R., Kumari, M., & Saha, S. K. (2016). Monitoring of water stress in wheat using multispectral indices derived from Landsat-TM. *Geocarto International*, 31(6), 682-693..
- Deák, K.; Szuvandzsiev, P; Lugasi, A; Pék, Z; Helyes, L.(2013): Az öntözés és az évjárat hatása a paradicsom termésmennyiségére és minőségére. *Kertgazdaság* 2013. 45.(2)
- Demeter E. (2022): Öntözésjelentés. Budapest. Agrárgazdasági Kutató Intézet. XXV. (1)
- Égei, M., Deák, K. J., & Szuvandzsiev, P. (2020). Effect of water supply and season on the productivity and carotenoid content of cherry type processing tomato. *COLUMELLA—Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 7(1), 47-56.
- FAO (2023) Crop information; Tomatoes: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (2023.03.20.)
- Gamon, J. A., Penuelas, J., & Field, C. B. (1992). A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. *Remote Sensing of environment*, 41(1), 35-44.
- Gao, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 58(3), 257-266.
- Genc, L., Demirel, K., Camoglu, G., Asik, S., & Smith, S. (2011). Determination of plant water stress using spectral reflectance measurements in watermelon (*Citrullus vulgaris*). *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 11(2), 296-304.
- Gevaert, C. M., Suomalainen, J., Tang, J., & Kooistra, L. (2015). Generation of spectral–temporal response surfaces by combining multispectral satellite and hyperspectral UAV imagery for precision agriculture applications. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(6), 3140-3146.
- Gitelson, A. A., Viña, A., Ciganda, V., Rundquist, D. C., & Arkebauer, T. J. (2005). Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. *Geophysical research letters*, 32(8).
- Gomez, C., Rossel, R. A. V., & McBratney, A. B. (2008). Soil organic carbon prediction by hyperspectral remote sensing and field vis-NIR spectroscopy: An Australian case study. *Geoderma*, 146(3-4), 403-411.
- Heinzseed (2022): H1015 fajta leírás: <https://www.heinzseed.com/product/h1015-efs-10011> (2023.01.30.)
- Helyes, L. (1999). A paradicsom és termesztése. 1. kiadás ed. Budapest: SYCA Szakkönyvszolgálat.
- Helyes, L., Lugasi, A. & Pék, Z. (2012): Effect of irrigation on processing tomato yield and antioxidant components. *Turkish Journal of Agriculture and Forest*, Vol. 36: No. 6, Article 9. <https://doi.org/10.3906/tar-1107-9>
- Hirich, A., Fatnassi, H., Ragab, R., & Choukr-Allah, R. (2016). Prediction of climate change impact on corn grown in the south of Morocco using the Saltmed model. *Irrigation and Drainage*, 65(1), 9-18.
- http1: Spad 502 Plus: <http://hu.chinatestingequipment.com/agro-ecological-testing-equipment/plant-physiological-instrument/spad-502-chlorophyll-meter.html> (2023.01.13.)
- http2: ASD spektrométer: <https://www.laboratorynetwork.com/doc/fieldspec-handheld-0001> (2023.01.13.)
- Ihuoma, S. O., & Madramootoo, C. A. (2017). Recent advances in crop water stress detection. *Computers and Electronics in Agriculture*, 141, 267-275.
- Ihuoma, S. O., & Madramootoo, C. A. (2019). Sensitivity of spectral vegetation indices for monitoring water stress in tomato plants. *Computers and Electronics in Agriculture*, 163, 104860.

- Katsoulas, N., Elvanidi, A., Ferentinos, K. P., Kacira, M., Bartzanas, T., & Kittas, C. (2016). Crop reflectance monitoring as a tool for water stress detection in greenhouses: A review. *Biosystems Engineering*, 151, 374-398.
- KSH (2023/a): Magyarország időjárásnak adatai: https://www.ksh.hu/stadat_files/kor/hu/kor0037.html (2013.03.03)
- KSH (2023/b): Magyarország öntözési adatai: https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0094.html (2023.03.03.)
- Merzlyak, M. N., Gitelson, A. A., Chivkunova, O. B., & Rakitin, V. Y. (1999). Non-destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening. *Physiologia plantarum*, 106(1), 135-141.
- Mzid, N., Cantore, V., De Mastro, G., Albrizio, R., Sellami, M. H., & Todorovic, M. (2020). The application of ground-based and satellite remote sensing for estimation of bio-physiological parameters of wheat grown under different water regimes. *Water*, 12(8), 2095.
- Neupane, J; Guo, W. (2019). Agronomic Basis and Strategies for Precision Water Management: A Review, *Agronomy* 2019, 9(2), 87.
- OMSZ (2023): Magyarország éghajlatának adatai: https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_evek_idojarasa/ (2023.02.10.)
- Peñuelas, J., Filella, I., Biel, C., Serrano, L., & Save, R. (1993). The reflectance at the 950–970 nm region as an indicator of plant water status. *International journal of remote sensing*, 14(10), 1887-1905.
- Rafiei-Sardooi, E., Azareh, A., Shooshtari, S. J., & Parteli, E. J. (2022). Long-term assessment of land-use and climate change on water scarcity in an arid basin in Iran. *Ecological Modelling*, 467, 109934.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Spec. Publ*, 351(1), 309.
- Somos, A. (1978). A paradicsom. Budapest: Akadémia Kiadó. 112 p.
- Steduto, P. ;C. Hsiao, T.;Feres, E. ;Raes, D.;Land and Water Division (2012). Crop yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 66. FAO, Rome, Italy. 503 p.
- Takács, S. (2019). Precíziós öntözési technológia: Aquacrop modell alkalmazhatósága az ipari paradicsom termesztésben.
- Takács S, Csengeri E, Pék Z, Bíró T, Szuvandzsiev P, Palotás G, Helyes L. (2021): Performance Evaluation of AquaCrop Model in Processing Tomato Biomass, Fruit Yield and Water Stress Indicator Modelling. *Water.*; 13(24):3587. <https://doi.org/10.3390/w13243587>
- Takács S, Pék Z, Csányi D, Daood HG, Szuvandzsiev P, Palotás G, 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>
- Walsh, O. S., Marshall, J., Jackson, C., Nambi, E., Shafian, S., Jayawardena, D. M., ... & McClintick-Chess, J. R. (2022). Wheat yield and protein estimation with handheld-and UAV-based reflectance measurements. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 5(4), e20309.
- WPTC (2023): Products in the world. <https://www.wptc.to/wptc-crop-update-as-of-25-january-2023/> (2023.02.25.)
- Želazny, W. R., & Lukáš, J. (2020). Drought Stress Detection in Juvenile Oilseed Rape Using Hyperspectral Imaging with a Focus on Spectra Variability. *Remote Sensing*, 12(20), 3462.

NYILATKOZAT

Alulírott CZINKOCZKI ENIKŐ, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, SZENT ISTVÁN Campus, DSZTATLAN AGRÁRMÉRNÖK szak nappali/levelező* tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem. Hozzájárulok ahhoz, hogy Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom egyoldalas összefoglalója felkerüljön az Egyetem honlapjára és hogy a digitális verzióban (pdf formátumban) leadott dolgozatom elérhető legyen a témát vezető Tanszéken/Intézetben, illetve az Egyetem központi nyilvántartásában, a jogi és etikai szabályok teljes körű betartása mellett.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: Gödöllő 2023. év április hó 28. nap

Czinkoczi Enikő
Hallgató

NYILATKOZAT

A dolgozat készítőjének konzulense nyilatkozom arról, hogy a Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom záróvizsgán történő védelemre javaslom / nem javaslom*.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: Gödöllő, 2023. 04. 28.

Takács Sándor
Belső konzulens

*Kérjük a megfelelőt aláhúzni!

NYILATKOZAT

diplomadolgozat nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről

A hallgató neve: CZINKOCZKI ENIKŐ
A Hallgató Neptun kódja: URB860
A dolgozat címe: Vegetációs indexek vízstressz monitoringra való alkalmazásának
A megjelenés éve: 2023 vizsgálata paradicsomban
A konzulens tanszék neve: Kertészettudományi Intézet
Zöldség és Gombatermesztési Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s 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 mindenkor szellemi tulajdonkezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe.

Kelt: Gödöllő, 2023. év április hó 28. nap

Czinkoczi Enikő
Hallgató aláírása

KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

A CZINKOCZY ENIKŐ (név) (hallgató Neptun azonosítója: URB8G0) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakedolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem²

Kelt: Gödöllő, 2023. 04. 28.


Belső konzulens

¹ A megfelelő aláhúzendő.

² A megfelelő aláhúzendő.