



**SZENT ISTVÁN
EGYETEM**

**PRECÍZIÓS ÖNTÖZÉSI TECHNOLÓGIA:
AQUACROP MODELL
ALKALMAZHATÓSÁGA AZ IPARI
PARADICSOM TERMESZTÉSÉBEN**

TAKÁCS SÁNDOR

Gödöllő

2019

A doktori iskola

megnevezése: SZIE Növénytudományi Doktori Iskola
tudományága: Növénytermesztési és kertészeti tudományok
vezetője: Dr. Helyes Lajos
egyetemi tanár, az MTA doktora
Szent István Egyetem
Mezőgazdasági- és Környezettudományi Kar
Kertészeti Intézet

témavezető: Dr. Helyes Lajos
egyetemi tanár, az MTA doktora
Szent István Egyetem
Mezőgazdasági- és Környezettudományi Kar
Kertészeti Intézet

társtémavezető: Dr. Bíró Tibor
egyetemi docens
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Vízstudományi Kar
Vízépítési és Vízgazdálkodási Intézet

.....
A témavezetőjövőhagyása

.....
A társtémavezető jövőhagyása

.....
Az iskolavezető aláírása

A munka előzményei, kitűzött célok

Sok évben okozott problémát a gazdálkodóknak a tenyészidőszakban hulló túl kevés csapadék vagy annak nem megfelelő eloszlása (Jolánkai et al., 2018; Szalai, 2009). A túl kevés csapadékból eredő bizonytalanságot a természetben legjobban öntözéssel védhetjük ki, bár léteznek más megoldások is az enyhítésre (Birkás et al., 2008).

Az öntözési volumen hazánkban az elmúlt időszakban 100.000 ha környékén mozog, ingadozása főként a csapadékos és aszályos évek váltakozásának tulajdonítható. A legelterjedtebb öntözési mód az esőszerű öntözés.

A helyspecifikus öntözés hozzájárul a víz- és energiatakarékossághoz és pozitív hatása van a növény vízhasznosítási mutatóira és a környezetre (Evans et al., 2013). Az alacsony vízellátottság mellett a túlöntözés kedvezőtlen hatásait is meg kell említeni, melyek a mélybeszivárgás, felszíni elfolyás vagy összefolyások lehetnek (Fiebig and Dodd, 2016). A precíziós öntözésre képes öntözőberendezések elterjedése még nagyon korlátozott hazánkban. Az eltérő mennyiséggel öntözendő területek kialakítása recepttérképeken történik. A szomszédos, differenciáltan öntözött területek közötti átmeneti sávokról és a differenciált vízkijuttatások egyenletességéről csak kevés információ áll rendelkezésre. A recepttérképek elkészítése történhet a termőföldet jellemző különböző faktorok (pl.: beszivárgás, domborzat, víztartó kapacitás stb.) alapján. A nagy részletesség értelmét veszti, ha a gép nem tudja kellő precizitással lekövetni a recepttérképet. Emellett tudományos irányultságú, növényekkel folytatott öntözési kísérleteknél a mintavételi pontok meghatározásánál is fontos, hogy olyan helyről vegyünk a mintákat, ahol a növények az általunk előírt vízmennyiséggel voltak megöntözve. A túl- és alulöntözött területek megoszlásának vizsgálata meglehetősen elhanyagolt az egyenletességre vonatkozó méréseknél.

Léteznek olyan növekedési modellek, amelyek képesek az öntözés növényekre gyakorolt hatását szimulálni. Emellett egy jó modell a

gazdálkodók döntéstámogatási rendszerének is része lehet. Az AquaCrop egy FAO által kifejlesztett növénynövekedési modell, amely képes a talaj-növény-légkör interakcióinak leírására (Steduto et al., 2012). Az AquaCrop több, a szimulációhoz szükséges beépített adattal is rendelkezik, azonban a különböző termőhelyekre és növényekre elvégzett kalibráció és validáció hozzájárul a javuló pontossághoz és használhatósághoz (Karunaratne et al., 2011). A modell képes különböző stresszfaktorok hatását is figyelembe venni a szimulációnál (léghőmérséklet, talaj sótartalma, pangóvíz, vízhiány). A vízhiány sztómazáródást vált ki a növénynél és a transzspiráción keresztül hat a növényi produkcióra. Az eddig elkészült tanulmányokban még nem vizsgálták részletesen ezt a modell által számított stresszmutatót, így releváns az eltérő vízellátottságú paradicsom-állományban gyűjtött vízstressz-mutatók és a modellezett értékek összevetése.

A paradicsom egyike a legjelentősebb kertészeti növényeknek és a termesztési területének nagy részén csak öntözött körülmények között valósítható meg eredményes termesztése. Emiatt az öntözésre adott reakcióinak ismerete elengedhetetlen. Vízhiány esetén a növény biomassza- és termésprodukciója csökken, viszont megfelelő mértékű tudatos alkalmazása egy lehetőség az ipari paradicsom termésminőségének javítására (Pék et al., 2017). Az ipari paradicsom vízzelmentes szárazanyag-tartalmának megfelelő szintje a bogyóban egyaránt foglalkoztatja a termelőket, feldolgozóipart és a tudományos szereplőket. A deficit öntözés csökkenti a potenciális biomasszát és termést, de a javított minőség és a vízmegtakarítás révén hasznos lehet (Patanè et al., 2011), emellett maximalizálhatjuk az egységnyi vízre vetített növényi produktivitást (Fereris and Soriano, 2007).

A kutatás során az alábbi kérdésekre kerestem választ:

- Milyen hatása lesz az esőszerű öntözéssel kijuttatott eltérő vízádagoknak az ipari paradicsom terméseredményeire, szárazanyag-tartalmára?

- Hogyan alakulnak az eltérő vízádaggal öntözött állományokban a vízhiányhoz köthető stressz-szintek?
- Melyik mérés technika (hőkamera vagy távhőmérő) és melyik vízstressz-mutató index-szám (CWSI vagy SDD) lesz alkalmasabb a vízstressz-monitorozásra az ipari paradicsom esetében?
- Milyen pontossággal képes az AquaCrop modell becsülni a megtermelt növényi biomaszra szárazanyag és a termés szárazanyag mennyiségét?
- Az AquaCrop modell milyen pontossággal követi a vízhiány miatt kialakuló növényi stresszt?
- Alkalmas-e a precíziós központi körforgó öntözőberendezés deficit öntözési kísérletek lefolytatására a változtatható dózisú öntözést kihasználva, szem előtt tartva az átmeneti zónákat és a megfelelő egyenletességet?

Anyag és módszer

Deficit öntözési kísérletek beállítása

A szabadföldi kísérleteket a Szent István Egyetem szarvasi tanüzemében állítottam be 2017-ben és 2018-ban. Az ipari paradicsom deficit öntözési kísérletet UG812J hibriddel végeztem, az első évben 3, a második évben 4 különböző vízellátottsági szinten. 2018-ban 3 különböző, kísérleti stádiumú baktériumkészítmény hatását is megvizsgáltam. Az öntözést egy precíziós center pivot öntözőberendezéssel végeztem és az eltérő arányú vízkijuttatás VRI iS rendszer segítségével valósult meg az eltérő vízellátású parcellákban. Az eltérő arányú vízellátás alapját az AquaCrop-pal számított potenciális evapotranszspiráció adta. Az optimális vízellátottságú parcella ennek 100%-át, a közepes mértékű vízstresszt reprezentáló parcella az 50%-át kapta, valamint egy erősen stresszelt parcellát állítottam be, amely nem részesült rendszeres öntözésben. 2018-ban egy enyhe vízstresszt elszenvedő parcellával egészítettem ki a 3 kísérletet, amely az optimális vízellátottság 75%-át kapta. A baktériumkészítményeket és a vízellátottság különböző szintjeit sávos kísérleti elrendezésben vizsgáltam, így mind a 4 eltérő vízellátás mellett mérhető volt a készítmények termésmennyiségre, szárazanyag-tartalomra gyakorolt hatása.

A tenyészidőszak végén összefüggéseket kerestem a vízellátottság és a termés mennyisége, a szárazanyag-tartalom és a szárazanyag hozamok között, valamint megvizsgáltam a vízfelhasználási együtthatót is.

Vízstressz nyomon követése ipari paradicsomban

Az eltérő vízellátottságú állományokban a lombfelszín hőmérsékletek mérésén keresztül követtem nyomon a vízstressz eltérő szintjeit. A mérésekhez két eltérő eszközt, egy infravörös távhőmérőt és egy mobiltelefonhoz csatlakoztatható hőkamerát használtam. Az adatokból két különböző indexet számítottam: napi stressz fokozat index (SDD) és növényi

vízstressz index (CWSI). Megvizsgáltam melyik eszköz alkalmasabb a vízstressz követésére, valamint, hogy melyik index ad részletesebb képet az állományokban fellépő vízstresszről.

A vízkijuttatás egyenletességének mérése, az alul- és túllöntözés vizsgálata

Az egyenletességre vonatkozóan két különböző típusú mérést végeztem el (négyzethálós elrendezés és ASAE mérési sztenderd szerint). A Christiansen-féle egyenletességi tényezőt (CU_C) és az eloszlási egyenletességet (DU) a négyzethálós mérési elrendezés adataiból számítottam. Az másik típusú méréshez a központi tornyot tekintve sugárirányban helyeztem el a csapadékmérőket és az adatokból Heerman és Hein-féle egyenletességi tényezőt (CU_{HH}) számítottam.

Az alul- és túllöntözés vizsgálatára a négyzetháló alapú mérések eredményeit használtam. A mért vízmennyiségek alapján 3D felszíneket készítettem, módosított Shepard-interpolációt használva, amikből az előírt mennyiségeket reprezentáló sík felszíneket kivonva megkaptam az alul- és túllöntözött víz mennyiségét és a területek kiterjedését. Az eredményeket hektárra vetítve vizsgáltam.

AquaCrop modell vizsgálata

Az AquaCrop növekedési modell alkalmas a növényi biomassa, termés és vízstressz modellezésére, ezért a kísérletben mért mutatóimat összehasonlítottam a modell által számított értékekkel, így vizsgálva annak használhatóságát az ipari paradicsom termesztésben. 2017-ben csak a betakarításkor mért biomassa- és termés mennyiségét és a vízstressz mutatószámait (St_{sto}) hasonlítottam össze. 2018-ban a biomassa tenyészidő közbeni gyarapodását is nyomon követtem, amelyhez összesen 6 alkalommal gyűjtöttem mintát a tenyészidő alatt az eltérő vízellátottságú állományokból.

Statisztikai vizsgálatok

A statisztikai tesztekhez, valamint a grafikonok és diagrammok elkészítéséhez R 3.4.3-at (R Core Team, 2018), Rcommander csomagot (Fox and Bouchet-Valat, 2017), Microsoft Excel-t, valamint IBM SPSS 24 programcsomagot használtam (IBM Co., USA). Az adatok normáleloszlását Shapiro-Wilk teszttel, a homoszkedaszticitást Bartlett-teszttel ellenőriztem. A kezelések hatásának feltárására egytényezős varianciaanalízist (ANOVA), valamint két-tényezős varianciaanalízist, továbbá Tukey post-hoc tesztet használtam. Az adatok közötti összefüggések vizsgálatára Pearson-korrelációt, valamint lineáris regressziót használtam. A modellek hibáinak értékelésére MAE (Mean absolute error) és RMSE (Root mean squared error) mutatókat használtam.

Eredmények

Termésparaméterek

Az első kísérleti évben a 3 különböző vízellátottsági szint 186; 319 és 453 mm voltak. A második évben 171; 258; 297 és 340 mm volt a növények teljes vízellátottsága a kezelésekben. A legkevesebb piacképes termést a 2017-es évi kontroll kezelés adta ($42,4 \text{ t ha}^{-1}$). A legmagasabb piacképes termésátlagot a két év alatt 2017-ben, az optimális vízellátottság mellett értem el $103,7 \text{ t ha}^{-1}$ mennyiséggel. A legalacsonyabb °Brix a 2018-as évben a legmagasabb vízellátottságnál jelentkezett (4,38). Ugyanezen évben $6,14 \text{ °Brix}$ -ot mértem a kontrollban. A két év alatt a legmagasabb szárazanyaghozam sem érte el az 5 t ha^{-1} -t. Szignifikáns különbségeket egyik évben sem találtam a kezelések között a vízfelhasználási együtthatók tekintetében. A két év eredményei alapján a vízellátottság szignifikáns hatással volt a piacképes termésmennyiségre ($R^2=0,89$), szárazanyag-tartalomra ($R^2=0,73$) és a szárazanyaghozamra ($R^2=0,93$) egyaránt.

Egyik baktériumkészítmény esetében sem lehetett szignifikáns pozitív hatást kimutatni a kontrollhoz képest a piacképes termésre nézve. Az optimális vízellátottság mellett a baktériumkészítménnyel kezelt beállítások jelentősen alacsonyabbak voltak a kontrollnál, azonban ennek okát nem sikerült feltárnom az egy éves szabadföldi kísérletben.

Lombfelszín hőmérséklet-mérések

A kezelések legrészletesebb elkülönítése 2017-ben az infravörös távhőmérővel mért értékekből számított SDD-értékek és a hőkamera adataiból számított CWSI-értékek alapján volt lehetséges. 2018-ban a több kezelés nehezítette a kezelések vízstressz alapú elkülönítését. A legjobb eredményeket a hőkamera adataiból számított CWSI-értékek adták, azonban így sem lehetett elkülöníteni az enyhén stresszelt kezelést a közepesen stresszelt és az optimális vízellátottságú állományoktól. A legmagasabb kumulált SDD-

értéket a 2017-es év kontroll állománya érte el, míg a legalacsonyabb értéket a 2017-es év optimális vízellátottság állományában regisztráltam. A kumulált CWSI-értékeket tekintve is ezekben a kezeléseknél fordultak elő a legmagasabb és legalacsonyabb értékek. A két év eredményei alapján a vízellátottság erős hatással volt a kumulált CWSI-értékekre ($R^2=0,95$). A kumulált CWSI-értékek nagyon szoros kapcsolatot mutattak a piacképes termékkel ($R^2=0,91$) és a szárazanyag hozammal ($R^2=0,92$).

Az öntözés egyenletessége, átmeneti zónák, alul- és túlöntözés

Az egyenletesség minden mérés alkalmával megfelelőnek bizonyult. A CU_C 91,8-92,9% között alakult a 100%-os öntözési arány mellett és 88,8-90,8% között az 50%-os arányú parcellában. A DU értékei 88,7-90% és 85,1-86,7% szerint alakultak a 100, illetve 50%-os arányú parcellákban. A CU_{HH} egyenletességi tényező értéke minden mérésnél minimum 90% volt a 100%-os arány mellett és 87,8-92,4% az 50%-os arányú parcellában. Az öntözési átmenetek szélessége eltérő volt attól függően, hogy a tábla hosszabb vagy rövidebb oldalára voltak merőlegesek a mérési vonalak. Ahhoz, hogy a kiöntözött vízmennyiségek jól közelítsék a különböző VRI zónákban előírt vízmennyiségeket, 9-10 m széles átmeneti sávval kell kalkulálni a szomszédos zónák között.

A legmagasabb túlöntözött mennyiség a 100%-os arányú öntözésnél $15,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, a legalacsonyabb mennyiség $6,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ volt. Az alulöntözés mennyisége 11,8, illetve $1,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ szerint alakult a 100%-os arány mellett. Az 50%-os arányú zónában a túlöntözés 6,7 és $4,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, az alulöntözés 5,2 és $0,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ volt.

AquaCrop

Az öntözött kezelések közül a tenészedőszak alatti biomassza gyarapodást tekintve az optimális vízellátottságnál a legerősebb a kapcsolat a modellezett és mért értékek között ($r=0,99$), de ez a vízellátottság csökkenésével gyengül,

amelynek oka a deficit öntözési kezelések eredményeinek túlbecslése. A kontroll kezelés jó eredménye csak úgy érhető el, ha a referencia levélborítást csökkentem. A két év összes betakarított termésmennyiség adatára nézve a mért és a modellezett értékek közötti kapcsolat erős volt ($r=0,89$). A modellezett vízstressz-értékek közepes erősségű kapcsolatban voltak a mért adatokból számított CWSI-értékekkel, $r=0,60$ és $r=0,50$ a két kísérleti évben. A kumulált mérésalapú és modellezett értékek már erősebb kapcsolatot mutattak $r=0,90$.

Új tudományos eredmények

1. Az AquaCrop-pal számított potenciális evapotranszpiráció 75%-kal folytatott „deficit” öntözéssel $4,15 \text{ t ha}^{-1}$, az optimális vízellátottságú kezeléstől szignifikánsan nem különböző szárazanyag hozamot mutattam ki, viszont jelentős, 25 %-os ($\sim 44 \text{ mm}$) vízmegtakarítás érhető el az optimális vízellátottsághoz képest.
2. A paradicsom vízstressz-monitorozásra a CWSI alkalmasabb volt, mint az SDD. A CWSI adott részletesebb felbontást a két év alapján. A 160×120 felbontású, 8-14 μm spektrumban érzékeny termális kamera jobb volt, mint az infravörös távhőmérő. Az ipari paradicsom vízstressz monitorozására a CWSI és a termális kamera kombinációját javaslom.
3. A CWSI kumulált értékei szignifikáns kapcsolatot mutattak az ipari paradicsom fontosabb termésmutatóival. A kumulált CWSI stresszértékek és a piacképes termés között $R^2=0,91$ erősségű a kapcsolat. A magasabb stressz kisebb terméssel, de magasabb °Brix értékkel jár ($R^2=0,79$), hektáronkénti alacsonyabb szárazanyag hozamot eredményezve ($R^2=0,92$).
4. Az AquaCrop modellben az input adatok néhány kisebb módosítása után (referencia levélborítás és betakarítási index) a modell jó becslési pontosságot ad, a biomassza- és termésadatok esetében, az optimális vízellátottság és a legnagyobb vízstresszt elszenvedő kontroll kezeléseknél.
5. Az AquaCrop modell vízhiány által kiváltott modellezett stresszértékei csak a legnagyobb vízstresszt elszenvedő kontroll kezelésben volt összevethető a CWSI értékekkel.
A teljes monitorozott időszak kumulált stresszértékei, minden vízellátottsági szintet vizsgálva, szignifikáns kapcsolatot mutattak a modell kumulált stresszértékeivel ($r=0,90$). Megállapítom, hogy a napi

követést kevésbé jól végzi a modell, azonban a teljes tenyésztési időszak kumulált értékei meggyőző kapcsolatot mutatnak a termésparaméterekkel ($r = -0,84$ - $-0,91$).

Következtetések és javaslatok

A vízellátás hatása az ipari paradicsom termelési mutatóira

Az emelkedő vízellátás lépcsőzetesen növekvő termésszinteket eredményezett a biomassa, összes termés és piacképes termés esetében is, ahogy ezt nagyon sok tudományos kísérletben igazolták már (Giuliani et al., 2016; Patané et al., 2011, 2014). A vízdoldható szárazanyagtartalom és a növekvő vízellátottság fordítottan arányos kapcsolatát is több tanulmányban leírták már (Helyes et al., 2014; Kuşçu et al., 2014; Pék et al., 2015; Zhang et al., 2017). Ezek a mutatók mindkét kísérleti évben egyenletesen reagáltak a vízellátásra. Az eredeti célja a deficitöntözésnek, miszerint a minőség javítása és a vízmegtakarítás olyan szinten legyen, amely ellensúlyozza a friss termés csökkenését, legjobban a 2018-as kísérleti évben az I75 kezelésben következett be, ahol is a hektáronként megtermelt szárazanyagban statisztikailag nem volt különbség a teljes vízádagokkal és annak 75%-ával öntözött vízádagok között. Emiatt javasolható, hogy közepesen kötött talajon érdemes az AquaCrop által számított potenciális növényi evapotranszpiráció 75%-nak megfelelő öntözővizet kijuttatni, hogy elérjük a területegységre vetített megfelelő szárazanyaghozamot, de a növény maximális vízigényének kielégítéséhez képest öntözővíz-megtakarítást is realizálhatunk (Nangare et al., 2016; Patané and Cosentino, 2010). A WUE tekintetében statisztikailag igazolható különbséget nem találtam. Az első kísérleti évben a kezelések átlagai közel álltak egymáshoz, azonban a második évben a K és I50 vízellátás, valamint az I100 kezelés átlagai között már jelentős különbség van az I100 javára. Azonban a statisztikai vizsgálat alapján arra következtetek, hogy egyenletes volt a növények vízhasznosítása minden vízellátási szinten.

A szárazságstressz vizsgálatok eredményei

A mindkét évben beállított 3 különböző vízellátási szint (K, I50, I100) mindkét évben elkülönült a vízstressz-szintek alapján. Az első évben az infravörös távhőmérő adataiból számított SDD értékek és a hőkamera adataiból számított CWSI értékek működtek jól, mivel ezeknél lehetővé vált minden vízellátási szint elkülönítése az átlagok és a kumulált értékek tekintetében egyaránt (Nardella et al., 2008). A második évben már egyik esetben sem sikerült az átlagok alapján mind a négy vízellátási szintet elkülöníteni. A legjobb eredményt a hőkamera adataiból számított CWSI értékek adták, amellyel mindössze az I75 kezelés nem volt elkülöníthető az átlagok alapján a két szomszédos vízellátottsági szinttől és a kumulált értékek is meglehetősen közel voltak az I50 és I75 kezeléseknél. Emiatt megállapítottam, hogy a használt ipari paradicsom hibridnél a vízstressz követésére a hőkamerás adatbeszerzés és a CWSI index alkalmas a legjobban. A kumulált CWSI értékek nagy hatását mutatták ki a lineáris regressziók a piacképes termésre és a szárazanyag-hozamra egyaránt (Sezen et al., 2014). Így egy alacsony árfekvésű, okostelefonhoz csatlakoztatható termális kamera és a viszonylag egyszerűen számítható CWSI jó opció lehet a különböző vízellátottsági szintű állományok vízstressz állapotának követésére vagy akár öntözés vezérléséhez (Gerhards et al., 2016; Ihuoma and Madramootoo, 2017; Jones, 2004). Továbbá javaslom a vizsgálatok kiterjesztését a térbeli alkalmazhatóság vizsgálatára (Berni et al., 2009; Meron et al., 2010), amely UAV-k bevonásával megvalósítható.

A center pivot öntözőberendezés egyenletessége és az átmeneti zónák

Az öntözőgép minden mérés alapján megfelelő egyenletességet mutatott az eltérő aránnyal öntözött parcellákban (Dukes and Perry, 2006; Irmak et al., 2011; Yari et al., 2017b). Ennek vizsgálata nagyon fontos volt a kísérletek szempontjából is, hiszen egy tudományos igényességű öntözési kísérlet

precizitása megkívánja, hogy egyenletes legyen a vízkijuttatás, valamint a kijuttatott mennyiség ne térjen el a megkívánttól. Ez a kijuttatott arányok vizsgálata alapján megvalósult. Az alul- és túllöntözés az elkészített modellek alapján egyik esetben sem volt jelentős.

Az átmeneti sávok szélességére vonatkozó mérések alapján megállapítható, hogy kb. 9-10 m átmenetet szükséges figyelembe venni a szomszédos, eltérő arányú vízkijuttatásban részesülő parcellák között abban az esetben, ha a precíz vízellátás ilyen szinten fontos, mint például növényi vízellátottsággal kapcsolatos kísérletekben (Takács et al., 2018c). Hasonló vagy kisebb szélességű átmenetről számoltak be más tanulmányban (O'Shaughnessy et al., 2013; Zhao et al., 2014). Amennyiben az öntözött tábla különböző, öntözési szempontból releváns tulajdonságaira végzünk felmérést, a térbeli részletesség tervezésénél szintén figyelembe vehető, hogy a gépnek is szüksége van az átállásra a különböző VRI zónák között.

Az AquaCrop szimulációk értékelése

A szezon közbeni biomassa gyarapodás nyomon követése nagyon jól működött a maximum vízellátás esetében és a kontroll kezelés esetében is (Paredes et al., 2015). A deficit öntözési kezeléseknél nagy pontatlanságok voltak a kalkulációban a szezon közben és a szezon végére is (Ahmadi et al., 2015; Greaves and Wang, 2016), amely a modell túlbecslését jelentette (Katerji et al., 2013). A szezonközi eltérések részben magyarázhatók a szezonközi mintavételek alacsony mintaszámával. A referencia betakarítási indexek kísérleti adatok alapján történő beállítása végett a betakarított termések jó korrelációt mutattak a modellezett értékekkel.

A modellezett, vízhiány által kiváltott stresszértékek napi felbontásban nem kellően szofisztikáltak, így az öntözött állományokban megfelelő összehasonlítás nem volt lehetséges, hiszen a modell alig kalkulált stresszértékeket az öntözött állományokra. A kontroll kezeléseknél szimulált

stresszértékeket a valós levélfelszín-hőmérsékletek méréséből számított CWSI mutatókkal összevetve közepesen erős korrelációkat találtam. Tekintve, hogy a termésszimulációkban is felülbecslés jellemző a deficit öntözési kezelésekben, így megállapítottam, hogy a kísérletben jelenlévő vízhiány által kiváltott stresszt a modell nem pontosan számította, alábecsülte. Ellenben a modellezett kumulált stresszértékek és a termelési mutatók között jó korrelációt találtam, tehát a kezelések egymáshoz viszonyított arányában jól becsül a modell, viszont a becslés mértéke kevésnek bizonyult.

A modell vizsgálatát mindenképp folytatni szükséges és további adatokat gyűjteni a kalibrációhoz, validációhoz, amely várhatóan pontosítani fogja az eredményeket (Mohammadi et al., 2016; Paredes et al., 2014; Salemi et al., 2011). Ehhez akár távérzékelte adatok felhasználása is lehetséges (Trombetta et al., 2016). A legfontosabb, hogy a vízellátás termésre gyakorolt hatásának szimulációja pontosabb legyen a deficit öntözés várható eredményeinek jobb feltárása érdekében.

Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

Nemzetközi, Impakt faktoros folyóiratban megjelent:

1. **Takács S.**, Bíró T., Helyes L., Pék Z.: 2018. Variable Rate Precision Irrigation Technology for Deficit Irrigation of Processing Tomato. Irrigation and Drainage. online.
2. Le, A. T., Pék Z., **Takács S.**, Neményi A., Daood, H. G., Helyes L.: 2018. The Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on the Water-Yield Relationship and Carotenoid Production of Processing Tomatoes. HortScience. 53. (6). 816-822.
3. Le, A. T., Pék Z., **Takács S.**, Neményi A., Helyes L.: 2018. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, water use efficiency and Brix of processing tomato. Plant, Soil and Environment. 64. 523-529.

Idegen nyelvű, nem Impakt faktoros folyóiratban megjelent:

1. **Takács S.**, Molnár T., Csengeri E., Le, A. T.: 2018. Application of AquaCrop in processing tomato growing and irrigation water demand calculation. Acta Agraria Debreceniensis. 2018/74. 183-187.
2. **Takács, S.**, Pék, Z., Bíró, T. and Helyes, L.: 2019. Heat stress detection in tomato under different irrigation treatments. Acta Horticulturae. 1233. 47-52.

Magyar nyelvű, nem Impakt faktoros folyóiratban megjelent:

1. **Takács S.**, Máthé B., Katona B. L., Le, A. T., Pék Z.: 2017. Ipari paradicsom modellezése AquaCrop szoftverrel. Kertgazdaság. 49. (4) 31-38.
2. Le, A. T., **Takács S.**, Bakr, J. A.: 2016. Vízellátás és mikrobiológiai oltás együttes hatása a paradicsom mennyiségi és minőségi paramétereire. Kertgazdaság. 48. (4). 32-39.

Konferencia kiadványok:

1. **Takács S.**: 2018. Víztakarékos öntözési módok vizsgálata. SZIE kiváló tehetségei konferencia (előadás). 2018. február 9., Gödöllő. Absztrakt kötet folyamatban.

2. **Takács S.**, Pék Z., Bíró T., Helyes L.: Heat stress detection in tomato under different irrigation treatments (poszter). XV. International Symposium on Processing Tomato – XIII. World Processing Tomato Congress: (2018. június 11-15., Görögország). Acta Horticulturae. 1233, 47-52. DOI: 10.17660/ActaHortic.2019.1233.8
3. **Takács S.**: Vízstressz vizsgálat ipari paradicsomban (előadás). Alkalmazkodó vízgazdálkodás: Lehetőségek és kockázatok, Víz tudományi nemzetközi konferencia, 2018.március 22., Szarvas. Konferencia kiadvány. 196-201.
4. **Takács, S.**, Helyes, L., Bíró, T., Pék, Z.: 2018. Irrigation water saving method using precision technology. PREGA Science. Papers presented at the 2nd Scientific Conference on Precision Agriculture and Agro-Informatics. AquaWorld Resort, Budapest. 20.02.2018. Agroinform Média Kft. Budapest. 2018. 44-45 p.
5. **Takács S.**, Neményi A., Szuvandzsiev P., Hussein, D., Nagy Zs., Korsós M., Helyes L., Pék Z.: 2018. Estimation soluble solids content of sour cherry fruits using NIR spectrometer (poszter). 12th International Conference on Agrophysics: Soil, Plant & Climate. 2018. szeptember 17-19., Lublin, Lengyelország. Absztrakt kötet.
6. Mészáros M., **Takács S.**, Molnár V.: 2016. Körbeforgó öntözőberendezés munkaminőségi vizsgálata. 2016. Kihívások a mai modern mezőgazdaságban. Konferencia kiadvány. 144-150.
7. Rác I.-né, Terbe T., **Takács S.**: 2016. A növények kémiai kommunikációja - Amikor a növények segítségért kiáltanak. 2016. Kihívások a mai modern mezőgazdaságban. Konferencia kiadvány. 85-90.
8. Molnár T., **Takács S.**, Futó Z.: 2016. Herbicidek hatása az arbuskuláris mikorrhiza kialakulására. 2016. Kihívások a mai modern mezőgazdaságban. Konferencia kiadvány. 81-84.