

Fontosabb zöldségfajok víz stresszre adott válasza

ÉGEI MÁRTON, BALÁZS VIKTOR

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Kertészettudományi Intézet, Gödöllő

E-mail: Egei.Marton@uni-mate.hu

Összefoglalás

A száraz időszakok gyakorisága befolyásolja a zöldségnövények termőképességét szabadföldi körülmények között. A növények anatómiai és morfológiai változásának tesztelését szárazság stressz vizsgálatát, általában kontrollált körülmények alatt végzik, azonban az élettani folyamatok változását nem kielégítően tanulmányozzák a különálló munkákban, ezért ezeket együttesen kell áttekinteni. Ez az áttekintés bemutatja a zöldborsó, zöldbab, paradicsom, és csemegekukorica víz stresszre adott válaszáat a sztómaműködés, levélfelület hőmérséklet, klorofill fluoreszcencia és levél klorofill tartalom alapján. Ezek a stressz jelző tulajdonságok felhasználhatóak a genotípusok szárazság toleranciájának értékelésére, valamint az öntözés tervezésére.

Kulcsszavak: zöldségnövények, sztómakonduktancia, levélfelület hőmérséklet, víz stressz

Bevezetés és irodalmi áttekintés

A klímaváltozás pozitív hatásaként értelmezhető a levegő magas CO₂ tartalma, ami előnyös a növények fotoszintézisére és a vízfelhasználás hatékonyságára, azonban ez az előny kevésbé érvényesül korlátozott vízellátásban. Az egyre gyakrabban előforduló száraz forró időszakok kedvezőtlenül érintik a szabadföldi zöldség kultúrák termesztését. A talajban a magas hőmérséklet a csíranövények fejlődését, a légköri magas hőmérséklet a reprodukív fejlődés alatt a termés mennyiségét csökkenti a legtöbb fontos zöldségfaj esetében, mint a zöldbab, zöldborsó, paprika, paradicsom, csemegekukorica (Nemeskéri 2004; Ray 2015; Ombódi et al. 2015). Az aszályos időszakok csökkentik a termés mennyiségét, de néhány növény fajtánál kedvezőek a termés élelmi minőségére, növekedhet a vízben oldódó szárazanyag tartalom (Nemeskéri 1997; Nemeskéri 2006; Nemeskéri et al. 2019a; Nemeskéri et al. 2019b). Az egyszerre lehulló sok csapadékra, a növények a vízhiányhoz hasonló tünetekkel reagálnak; gátolt lesz a gyökerek oxigén ellátása, légzése, csökken a vízfelvétel, ami sztóma záródáshoz vezet (Aroca et al. 2012). Ilyen körülmények alatt a sztóma záródásával csökken a sztóma konduktancia, a klorofill fluo-

reszcencia, a levél klorofill tartalma, ezáltal a fotoszintézis intenzitása (Zhu et al. 2016). Nagy mennyiségű víz hatására lassul a csemegekukorica szem kifejlődése, kisebb tömegű szemek képződnek, ezáltal a termés mennyisége is csökken (Tian et al. 2019), ami csapadékos évben helytelenül kivitelezett öntözéssel is előfordulhat. Víz stressz alatt azonban legtöbbször vízhiány stresszt és nem víz többletet értünk.

A csemegekukoricát, zöldbabot és zöldborsót közepesen víz stressz érzékeny növények csoportjába, a paradicsomot a nagyon érzékenyek közé sorolták (Heszky 2007). A tavaszi vetésű zöldborsó a vegetatív fejlődése alatt a talaj nedvességtartalmát, a kevés csapadékot is jól hasznosítja, alacsony a hőmérséklet igénye, de virágzás és magfejlődés alatt érzékenyen reagál a magas hőmérsékletre és vízhiányra. A melegigényes növények, mint a bab, a paradicsom, a csemegekukorica, a generatív fejlődésük alatt számukra a kielégítő vízellátás öntözéssel biztosítható, de az öntözés időpontját, az öntözővíz adagot a növényfajta szárazság toleranciájának mértéke, vízhasznosításuk hatékonysága határozza meg.

Ebben a munkában áttekintettük a víz stressz hatását a növények fejlődésére, és azokat az élettani tulajdonságokat, amelyek a vízfogyasztást befolyásolják, és közvetett módon hatnak a termésre. A hazai termesztés és fogyasztás alapján, a zöldborsó, csemegekukorica, zöldbab és paradicsom zöldségfajok vízhiány stresszre adott reakcióit értékeltük, és összegyűjtöttük az ezzel kapcsolatos eredményeket, amelyek hasznosak lehetnek a nemesítők és termesztők számára egyaránt.

Víz stressz hatása zöldség növények fejlődésére

A növényfajta reakciója a víz stresszre attól függ, hogy ez melyik fejlődési szakaszban fordul elő. A vegetatív fejlődés korai szakaszában, a legtöbb növény nem olyan érzékeny a vízhiányra (Nemeskéri et al. 2019a; Nemeskéri et al. 2019b), de a generatív fejlődés alatt a vízhiány számos élettani tulajdonság változását okozza (Pék et al. 2013; Nemeskéri et al. 2015b, 2018a, 2018b), ezáltal termékenyülési zavar, termés csökkenés következik be. A vízhiány, a hüvelyes növények virágzása alatt növeli a virág hullás mértékét (Fang et al. 2010), csökkenti a növényenként képződő hüvelyek számát, a hüvelyekben a magvak számát (Boutraa és Sanders 2001), és növeli a görbült szabványon kívüli hüvelyek arányát a zöldbabnál (Nemeskéri 1987; Beshir et al. 2016). A vízhiányban a bab rövidebb hajtást kisebb méretű leveleket és rövidebb hüvelyeket produkál (Durigon et al. 2019). A félig levélnélküli (afila típusú) borsók levele kacsáa módosult így a levélfelületét és az asszimilációs felületet a pálha levelek biztosítják. Feltételezték, hogy a kis levélfelület miatt az ilyen fajtáknak kisebb lesz a vízigénye, ezáltal jobb lesz vízhasznosítás hatékonysága (WUE) mint a hagyományos, normál levelű borsófajtáknak (Baigorri et al. 1999). Csemegekukorica csökezdemény kialakulása a 6-8 leveles állapotban kezdődik és az ekkor bekövetkező vízhiány csökkenteni fogja a cső hosszát és a csövön a szemsorok számát (Moser et al. 2006), amennyiben a vízhiány a hímvirágzás alatt (címerhányás) fordul elő, jelentős lesz a termés csökkenés mértéke (Öktem 2008; Uçak et al. 2016). Az ipari paradicsom vízhiányra legérzékenyebb a bogvökötés és az intenzív bogvőfejlődés ideje alatt (Nemeskéri et al. 2019b), amikor a víz stressz intenzitásának növekedése 25% - tól akár 50%-os termés csökkenést is eredményezhet (Helyes és Varga 1994; Helyes et al. 1999; Patanè et al. 2011). A vízhiány a paradicsom virágzásának korai szakaszában

virághullást, és hiányos termékenyülést okoz (Bahadur et al. 2011), amennyiben bogyókötés alatt fordul elő, kisméretű bogyók képződnek (Helyes et al. 2010; Patanè et al. 2011). Hosszabb ideig tartó vízhiányban, a növények fejlődése lelassul, csökken a növények magassága, levélfelülete, biomassza produkciója. A vegetációs indexek, mint a levélterület index (LAI), spektrális vegetációs index (NDVI= normalized differential vegetation index) változása a fejlődés alatt, víz stressz alatt jellemzi a növényfajták vízhiány tűrő képességének mértékét és felhasználhatók a várható termés előrejelzésére (Nemeskéri et al. 2015a; Nemeskéri et al. 2018b; Nemeskéri et al. 2019b). Több növényfajnál, az NDVI-t felhasználják a növények fejlődésének, egészségi állapotának vagy vízhiányának nyomon követésére (Stone et al. 2001; Genc et al. 2013; Spitzko et al. 2016; Zhou et al. 2019).

Védekezés szárazság ellen

A vízhiány túlélésére a növények különböző védekezési mechanizmusokat fejlesztettek ki. Az eddigi kutatások három védekezési kategóriát állapítottak meg; 1) a szárazság előli „menekülés” amikor a növények életciklusuk lerövidítésével pl. korai virágzással, rövid tenyészidővel védekeznek, 2) a vízvesztés elkerülése, amikor a vízfelvétel és vízvesztés szabályozása sejt és szövet szinten történik, és a stressz időtartamától függ, 3) a szárazság elviselése, vagy tolerancia, amikor élettani és genetikai mechanizmusok aktivizálódnak.

A vízfelvétel növelése

Jól fejlett, mélyre hatoló gyökérrendszer, akár egy alacsonyabb talajnedvesség mellett is, képes biztosítani a vízfelvételt és a növények vízforgalmát. A száraz talajban, a gyökérrel szimbiotikus kapcsolatban élő mikroorganizmusok működése is gátolt. Száraz, könnyen melegedő talajban csökken a hüvelyesek gyökerén a gümők száma, csökken a nitrogén felvétel, ezáltal gátolt lesz a növények fejlődése (Augé et al. 2004; Mnasri et al. 2007). A hosszú ideig tartó talaj szárazság felgyorsítja a gyökér gümők öregedését, nő a reaktív oxigén vegyületek mennyisége (ROS), ennek következtében a gümők tömege, a gyökér és hajtás tömege is csökken (Esfahani és Mostajeran 2011). A víz stressz hatására megváltozik a gyökér/hajtás aránya, a levél felület nagysága. Tartósan alacsony talajnedvesség tartalom mellett a levél tömege 27-42%-kal csökken és a zöldbab fajták specifikus levélterülete 12-27%-kal csökken (Nemeskéri 2001). Azok a növényfajok, amelyeknek mély, fejlett gyökérrendszere van, mint a paradicsomnak, hosszabb ideig tartó alacsony talajnedvességet is képesek elviselni (Marouelli és Silva 2007). Száraz években a mikorrhizával inokulált paradicsom növények könnyen elviselték a vízhiányt (Bakr et al. 2018), ekkor nagyobb tömegű bogyókat, nagyobb termést produkáltak mérsékelt vízhiányban, deficités öntözést alkalmazva, mint az öntözés nélküli növények (Bakr et al. 2017; Nemeskéri et al. 2019b; Horváth et al. 2020).

A vízvesztés csökkentése

A növények a szövetek vízvesztésének jelentős csökkentését számos élettani és morfológiai tulajdonságok változásával érhetik el. A víz stresszre adott választ meghatározza a stressz időtartama, erőssége (1. ábra) és a növény fejlődési szakasza.

1. ábra. Vízesztesség elkerülése- élettani és morfológiai válaszok

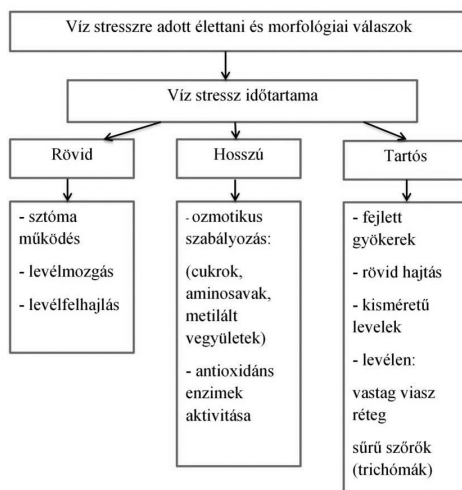


Figure 1. Water loss avoidance – physiological and morphological responses

Rövid ideig tartó szárazságra a növények sztóma zárásával reagálnak. Parry és Horgan (1992) kimutatták, hogy rövid, 7 naptól kevesebb ideig tartó vízhiányban, a gyökérben fokozódott az abszcizinsav (ABA) termelődése, majd a levelekbe jutva az ABA kiváltotta a sztómák zárását így csökkent a levelek vízvesztése. A részleges vagy teljes sztóma zárás korlátozza a transzspirációt, ennek következtében csökken a talajból a víz és tápanyag felvétel, csökken a fotoszintézis és a növények növekedése. A sztóma válasz a hüvelyes növényfajok között különbözik; a babnál gyors és teljes sztóma zárás jelentősen csökkenti a sztóma konduktanciát és a fotoszintézist, a tehénborsónál (*Vigna unguiculata*) a sztómák részlegesen nyitva vannak, így kevésbé csökken a nettó fotoszintézis ráta, mérsékelt vízhiányban (De Carvalho et al. 1998). Mérsékelt vízhiányban a zöldbab fejlődése már gátolt, a levélfelület csökken, míg a csemegekukorica levélfelület indexe (LAI) nem változik (Nemeskéri et al. 2018a; Nemeskéri et al. 2019a). A vízhiány nem befolyásolta a paradicsom levél területét (Garcia et al. 2007) de a 6 napig tartó hőmérséklet és víz stressz már jelentősen csökkentette a csíranövények hajtás és gyökér súlyát kontrollált körülmények alatt (Zhou et al. 2019).

A levélmozgás véd az erős sugárzás (napégés) ellen és csökkenti a transzspirációs levélfelületet is. Momonoki és Momonoki (1993) kísérleteiben a víz stressz alatt lévő bab levelei magas hőmérsékleten lekonyulnak, behajlanak, vagy paraheliotropikus mozgást végeznek, hogy csökkentsék az erős sugárzást és minimalizálják a vízvesztésüket. A paraheliotropikus mozgás nagyobb volt a víz stressz alatt a bab növényeknél az alacsonyabb vízpotenciál miatt, azonban ez előfordult a vízellátottságú növényeknél is (Pastenes et al. 2005). Fernandez és Castrillo (1999) megállapították, hogy a kukorica levél felhajlás mértéke lineárisan korrelált a levél vízpotenciállal. A kukorica levél felhajlása alatt, a transzspiráció, sztóma konduktancia, intracelluláris CO₂ kon-

centráció és nettó fotoszintetikus ráta csökkent (Sağlam et al. 2014). Mások (Nemeskéri et al. 2015a) almafajtáknál a levél felhajlás mértéke és a levél glükóz+fruktóz tartalma között szoros korrelációt ($r=0,85$) mutattak ki rövid ideig tartó enyhe szárazságban.

Hosszabb ideig tartó vízhiányban, a biokémiai folyamatok aktiválódnak, hogy fenntartsák a sejtekben az ozmotikus egyensúlyt, és a sejtmembrán szerkezetét, ezáltal a sejtek elkerülik a vízvesztést. Amint csökken a levelek vízpotenciálja, különböző ozmotikus anyagok, mint a cukrok, aminosavak, metilált vegyületek halmozódnak fel. Ezek az ozmotikus vegyületek növelik a sejtek ozmotikus nyomását, megindul a vízmozgás a sejtbe és szövetekbe biztosítva a turgor fenntartását. Kimutatták, hogy víz stressznek kitett borsó növények jelentős mennyiségű oldható cukrot és prolint halmoztak fel (Sánchez et al. 1998) és a zöldbab virágzása alatt fellépő víz stressz hatására jelentősen nőtt a levelek raffinóz és szacharóz tartalma (Nemeskéri et al. 2010). A sejtekben, szövetekben az oxidatív károsodás elkerülésére fokozódik az antioxidáns enzimek aktivitása és antioxidáns hatású vegyületek, mint a C-vitamin, karotinoidok felhalmozódása. Számos vízben oldódó antioxidáns vegyület (ACW= Antioxidant Capacity of Water substances) együttes működése segíti a növények adaptálódását a környezeti stresszekhez. Azok a zöldbab genotípusok, amelyeknek virágzás és hüvelyfejlődés alatt a levelekben magas az ACW szint, védelmet biztosít a vízhiány ellen (Nemeskéri et al. 2010).

A hosszabb, tartósan fennálló szárazságban, a vegetatív és generatív szervek sejtjeiben a vízvesztés megőrzése számos morfológiai és élettani változással együtt biztosítható. Kimutatták, hogy a levélen képződő epidermális szőrök (trichómák) kifejllesztése véd a napsugárzás ellen, csökkentik a párologtatást és fokozzák a transzspirációs rezisztenciát (Du et al. 2009). Víz stressz alatt, csak a levelek alsó, levélnyel közeli részen az alsó és felső epidermiszen volt kevesebb trichóma, összehasonlítva az öntözött növényekkel, bár a trichómák hosszának nagyobb jelentőséget tulajdonítottak, mint a sűrűségének (Sam et al. 2000). A levél felső bőrszövetén képződő viaszréteg ellenőrzi a vízáramlást a kutikulán, véd a magas sugárzás ellen és megelőzi az UV sugárzás okozta kárt. A borsó levél felületén a víz stressz a viaszréteg növekedését indukálta és a viasz-gazdag fajták jelentősen alacsonyabb lombhőmérséklettel rendelkeztek (Sánchez et al. 2001).

Vízforgalom szabályozása, víz stresszre adott válaszok

Számos élettani folyamat aktiválódik a vízvesztés mérséklésére (1. táblázat). A sztómáknak fontos szerepe van a transzspiráció és a CO₂ felvétel szabályozásában. Amint a sztómák záródnak, a transzspiráció mérséklődik. Ebben a folyamatban a sztóma tulajdonságok, mint a mérete, számuk, az alsó (abaxiális) és felső (adaxiális) levélfelületen a sztómák aránya jelentősen befolyásolják a C asszimilációt és a vízfelhasználás hatékonyságát (Galmés et al. 2011). Nagyobb sztómasűrűség az abaxiális levélfelületen nagyobb vízfelhasználás hatékonysággal kapcsolódik, míg az adaxiális levélfelületen jelenlévők a növények vízfogyasztását befolyásolják (Nemeskéri et al. 2018a), azonban a sztóma mérete mindkét felületen jelentősen függ a fajtától és vízellátástól (2. táblázat).

1. táblázat. Fontos élettani tulajdonságok a szárazságra adott válaszoknál

Élettani tulajdonságok (1)	Változás a stressz alatt (2)	Referencia (3)
Sztóma mérete és sűrűsége (4)	nő/csökken fajtától függően / increase/decrease depending on species	Hardy et al. 1995, Nemeskéri et al. 2015, 2018a
Levél hőmérséklet (5)	nő /increase	Helyes et al. 2010 Dejonge et al. 2015
Sztóma konduktancia (6)	csökken a CO ₂ diffúzió, nő a sztóma rezisztencia / decrease in diffusion of CO ₂ , stomatal resistance increases	Jones and Jones 1999, Nemeskéri et al. 2015, 2018a
	csökken stressz alatt / <i>reduction under stress</i>	Cornic és Lawlor 2002
	csökken az Fv/Fm súlyos szárazságban / decrease in Fv/Fm under severe drought	Flagella et al. 1998, Pol et al. 1999, Yordanov et al. 2000
	csökken stressz alatt, relatív klorofill tartalom (SPAD érték) nőhet /decrease under stress, relative chlorophyll content (SPAD value) can increase	Nankishore és Farrell 2016, Bakr et al. 2017 Nemeskéri et al. 2018b

Table 1. Physiological traits relevant for response to drought physiological characteristics (1), change under stress (2), reference (3), stoma size and density (4), canopy temperature (5), stoma conductance (6), photosynthetic performance (7), chlorophyll fluorescence (8), chlorophyll content of leaves (9)

Sztóma tulajdonságok

Több sztóma (134-195 db /mm²) található a paradicsom levelek alsó felületén és jelentősen kevesebb a felső felületen (40-62/ mm²) (Galmés et al. 2011). Jelentősen nagyobb az alsó levélfelület sztóma sűrűsége zöldbab, zöldborsó és csemegekukorica leveleken, mint a felső epidermiszen (2. táblázat). Vízhány eltérő mértékben hat az alsó levél epidermiszen az egységnyi területre eső (mm²) sztóma számra; zöldbabnál már enyhe vízhiányban (DI) is jelentősen csökken, csemegekukoricánál csak az öntözés nélküli növényeknél alacsony az optimális vízellátottságú növényekhez képest, de nem változik a zöldborsónál (2. táblázat). A felső epidermiszen több és nagyobb méretű sztóma található szárazságnak kitett zöldbabnál, kevesebb és azonos méretű volt zöldborsónál, mint az öntözött növényeknél. Azonban a zöldbabfajták között vízhiányban jelentős különbség mutatható ki a sztómák méretében és számában; a zöldhüvelyű zöldbab fajták felső levélfelületén 5-12%-kal kisebb és több sztóma található, míg a 13-18%-kal nagyobb méretű sztómák találhatók a sárgahüvelyűeknél, mint az öntözött növényeknél (Nemeskéri et al. 2018a). Nagyobb sztóma sűrűséget figyeltek meg késő érésű zöldborsófajtáknál (Nemeskéri et al. 2015a) és kései érésű csemegekukorica hibrideknél vízhiányban, mint a korai hibrideknél (Nemeskéri et al. 2017). Azonban előfordul, hogy egyazon levél, különböző területén és mindkét felületén külön-

bőzik a sztómasűrűség és méret, mint azt paradicsomnál mutatták ki; a levél csúcsi és középső részén, az alsó (abaxiális) levélfelületen nagyobb (32-34 μm) és több sztóma található, mint ugyanazon a területen a felső (adaxiális) felületen. A levél csúcsi részén a sztómák érzékenyebben reagáltak vízhiányra, mivel itt a felső epidermiszen kevesebb és nagyobb méretű sztómákat mutattak ki, mint az optimális vízellátottságú növényeknél (Sam et al. 2000). A sztóma sűrűség és sztóma konduktancia között szoros szignifikáns korrelációt ($r^2=0,958$) mutattak ki paradicsomnál (Galmés et al. 2011). Mások (Yang et al. 2004) pozitív kapcsolatot találtak a sztóma sűrűség és WUE között, de negatív a sztóma méret és WUE között szegletes ledneknél.

2. táblázat. Zöldség növények generatív fejlődése alatt a levél sztóma mérete és sűrűsége eltérő vízellátás alatt

Növényfaj (1)	Vízellátás (2)	Alsó epidermisz (3)		Felső epidermisz (4)	
		Sztóma db/ mm ² (5)	Sztóma méret μ (6)	Sztóma db/ mm ²	Sztóma méret μ
Zöldbab (7)	I0	387,79	23,72	104,81	30,51
	DI	374,17	-	93,41	-
	WI	331,22	24,90	78,61	29,64
	átlag	364,39	24,31	92,28	30,08
Zöldborsó (8)	I0	214,29	25,82	165,70	25,79
	DI	214,65	25,48	170,86	24,68
	WI	214,74	24,35	194,72	25,21
	átlag	214,56	25,22	177,10	25,23
Csemegekukorica (9)	I0	145,61	-	95,23	-
	DI	140,79	-	94,98	-
	WI	136,13	-	93,73	-
	átlag	140,84	50,04	94,65	53,22

*Nemeskéri et al. 2015, 2017, 2018a nyomán módosítva, μ =micron, I0=öntözés nélkül, DI=deficit öntözés, WI=optimális vízellátás

Table 2. Size and density of stomata measured during generative stages of vegetable crops under different water supplies

plant species (1), water supply (2), lower epidermis (3), upper epidermis (4), stoma (5), stoma size (6), green beans (7), green peas (8), sweet corn (9),

Levélfelület hőmérséklet-transzspiráció

A magas fotoszintetikusan aktív sugárzás alatt, a vízhiány és a magas hőmérséklet növeli a levélfelület hőmérsékletét. A sztómazárás csökkenti a transzspirációt és hozzájárul a lombfelület hőmérsékletének emelkedéséhez. A transzspiráció egyik feladata a növények hőmérsékletének az életfolyamatok számára kedvező szinten való tartása, amint a párologtatás csökken, a növényállomány hőmérséklete emelkedik. Abban az esetben, ha a talaj víztartalma kielégítő a növényállomány számára, a lombfelület és a levegő hőmérséklete között a különbség, a déli órákban, negatív vagy nulla, de ha a növények víz stressztől szenvednek, akkor ez pozitív értéket mutat. 1°C lombhőmérséklet emelkedés 10%-os transzspiráció csökkenéssel jár (Helyes et al. 2010). A genotípusok sztóma mérete, sűrűsége különbözik, ezáltal a transzspiráció intenzitása is változik, ami összefüggésben van a növény lombhőmérséklet különbsé-

gével. A lombhőmérséklet változása felhasználható víz stressz jelzőként (Gonzales-Dugo et al. 2006; Takács et al. 2020), mivel a lombhőmérséklet és levél vízpotenciál között szoros korrelációt mutattak ki (Dejonge et al. 2015), de felhasználható zöldbab genotípusok szárazság tűrőképességének értékelésére is, és a lombfelület és lég hőmérséklet különbsége, mint víz stressz index (CWSI) az öntözési időpont realitásabb meghatározására is felhasználható (Cselőtei és Helyes 1988; Helyes 1990; Helyes et al. 2005; Takács et al. 2020).

A nappal folyamán a levélhőmérséklet a levegő hőmérséklettel, sugárzással együtt emelkedik, amint a talaj víztartalom változik. Kukoricánál, a legalacsonyabb CWSI értéket 10:00 és 11:00 óra között, a legnagyobbat 12:00 és 13:00 óra között mértek (Taghvaeian et al. 2012). Víz stressz alatt, 9-15 óra között a zöldbabsnál és paradicsomnál a levélhőmérséklet magasabb volt, mint a levegő hőmérséklete (Helyes 1991). Vízhányban 9-15 óra között a zöldbab lombhőmérséklete 3,8 °C-al magasabb volt, mint a levegő hőmérséklete, mialatt ez 1,6 °C-al alacsonyabb volt az optimális vízellátottságú növényeknél (Helyes et al. 2005). Amikor a növény számára felvehető víztartalom a talajban csökken, a transzspiráció a levegő hőmérséklettől függően korlátozódik, ami növekvő lombhőmérsékletet eredményez. Mérsékelt vízhányban, 25-50%-os talajvíz tartalomnál a zöldbab lombhőmérséklet csaknem megegyezik a levegő hőmérsékletével jelezve az öntözés szükségességét (Helyes et al. 2005). Az esetben, ha a talajból a felvehető víz 25% alatt van, ez nem elégíti ki a növények vízigényét, a levél hűtését a transzspiráció nem végzi, a lombfelület hőmérséklete 2,5 °C-al magasabb, mint a levegő hőmérséklete, azt jelzi, hogy a növény víz stressztől szenved (Helyes et al. 2005).

A paradicsom jobban tudja hasznosítani a mélyebb talajréteg nedvességét az erős mélyre hatoló gyökér rendszerével, mint a sekélyen gyökerező zöldbab. Paradicsomnál végzett kísérletek azt mutatták, hogy vízhányban, a lombhőmérséklet csak 1,8 °C-al volt magasabb, mint a levegő hőmérséklete, míg jelentősen alacsonyabb volt (0,6 °C) optimális vízellátásban (Helyes 1990). Rendszeresen öntözött növényeknél a levegő hőmérséklet kismértékben befolyásolja a lombfelület hőmérsékletét ($r^2=0,60$), de a víz stressznek kitett növényeknél a lombhőmérséklet nő az emelkedő lég hőmérséklettel ($r^2=0,59$) (Helyes et al. 2010).

Sztóma konduktancia

A sztóma konduktancia jelzi a vízpára párolgási sebességét, ami több növény specifikus tulajdonságtól függ, mint a sztóma sűrűség, levél kora, mérete, a zárósejt és sejt turgortól. Kapcsolatban áll a fotoszintetikus asszimiláció mértékével azáltal, hogy egy megfelelő egyensúlyt biztosít a CO₂ felvétel és a transzspiráción keresztül a vízvesztesség között (Lawson et al. 2018). A fotoszintézis teljesítőképességben a változékonyság a sztómákon és a levél mezofil sejtrétegén keresztül történő CO₂ diffúzióval magyarázható, amit a mezofil CO₂ áramlás csökkenését a megnövekedett sejtfal vastagságnak tulajdonították (Galmés et al. 2011). Kukoricánál a víz stressz jelentősen csökkentette a transzspirációs rátát (37%) és sztóma konduktanciát (26%) (Anjum et al. 2011). Azonban, a sztóma konduktancia csökkenés mértéke attól függ melyik fejlődési szakaszban fordul elő a víz stressz; a csemegekukorica fajtáknál 7 nappal a virágzás után átlagosan 35%-kal csökkent a sztóma konduktancia, de 21 nappal a virágzás (anthézis) után már jelentősen nagyobb (74%) volt a csökkenés mértéke vízhányban, mint a jól öntözött növényeknél (Sabagh et al. 2017). Öntözés nélkül termesztett paradicsom esetében, időjárástól és fajtától függően, a sztóma konduktancia csökkenése 14-től 73% -ig terjedt, összehasonlítva a jól öntözött növényekkel (3. táblázat).

3. táblázat. Vízfogyasztással és fotoszintézissel összefüggő tulajdonságok zöldségnövényeknél optimális (OW) vízellátás és víz stressz (WS) alatt

Tulajdonság (1)	Növényfaj (2)	Egység (3)	OW (4)	WS (5)	Differencia % (6)	Referencia (7)
Sztóma rezisztencia (8)	zöldborsó (9)	s/cm	2,87	3,22	12,2	Nemeskéri et al. 2015
	zöldbab (10)	s/cm	1,33	2,54	90,9	Nemeskéri et al. 2018a
	csemegekukorica (11)	s/cm	2,13	2,85	33,8	Nemeskéri et al. 2017
Sztóma konduktancia (12)	zöldborsó (9)	mmol/ m ² /s	0,57	0,32	-43,9	Gurumurthy et al. 2019
	paradicsom (13)	mmol/ m ² /s	1200	125	-89,6	Nankishore és Farrell 2016
		μmol/m ² /s	457,26	394,95	-13,6	Nemeskéri et al. 2019b
		mol/m ² /s	20,2-37,9	6,3-10,2	-68,8 -73,1	Helyes et al. 2013
Klorofill fluoreszcencia (14)	zöldbab (10)	Fv/Fm	0,80	0,78	-2,5	Tari et al. 2008
	kukorica (11)	Fv/Fm	0,810	0,695	-14,2	Yan et al. 2017
	paradicsom (13)	Fv/Fm	0,785	0,745	-5,1	Nankishore és Farrell 2016
		Fv/Fm	0,748	0,696	-7,0	Nemeskéri et al. 2019
Klorofill tartalom (16)	zöldborsó (9)	SPAD*	48,16	49,02	1,8	Nemeskéri et al. 2015
	zöldbab (10)	SPAD	34,57	38,94	12,6	Nemeskéri et al. 2018b
	csemegekukorica (11)	SPAD	47,48	44,67	-5,9	Nemeskéri et al. 2019a
	paradicsom (13)	SPAD	50,97	52,63	3,3	Nemeskéri et al. 2019b

Table 3. Physiological traits related to water use and photosynthesis for vegetable crops under optimal water supply (OW) and water stress (WS) conditions

*SPAD= relative chlorophyll content of leaf

property (1), plant species (2), unit of measure (3), optimum water supply -OW (4), water stress -WS (5), difference% (6), reference (7), stoma resistance (8), green peas (9), green beans (10), sweet corn (11), stoma conductance (12), tomato (13), chlorophyll fluorescence (14), chlorophyll content (16),

Elégtelen vízellátásban, a sztóma konduktancia mind a víz és CO₂ áramlás számára csökken záródó sztómákkal (Sing és Reddy 2011), ennél fogva megállapítható, hogy a sztóma ellenállás (rezisztencia) nő. A sztóma rezisztencia mértéke elsősorban a vízpára áramlási sebességéről ad információt. Súlyos víz stressz alatt a zöldbabnál 91%-kal, csemegekukoricánál 34%-kal és zöldborsónál 12%-kal nőtt a jól öntözött növényekhez képest (3. táblázat). A 3. táblázatban bemutatott tanulmányok igazolták, hogy a zöldbab sokkal intenzívebben reagált a súlyos vízhiányra, mint a csemegekukorica és a zöldborsó. Hüvelyes növények virágzás és hüvelyfejlődés alatt a legérzékenyebbek a víz stresszre, amikor a sztóma rezisztencia változása függ a fajtától, és a víz stressz mértékétől. Mérsékelt vízhiányban a késői zöldborsófajtáknak nagyobb sztóma rezisztenciája volt (>3,0 s/cm), míg a zöldhüvelyű zöldbabfajták relatíve alacsonyabb (0,8-1,2 s/cm) a sárgahüvelyű zöldbabok fajtától függően eltérő értéket mutattak (1,0-1,43 s/cm) (Nemeskéri et al. 2015a, Nemeskéri et al. 2018a). Címerhánys alatt a kései csemegekukorica hibridek magasabb sztóma rezisztenciával reagáltak (3,0 s/cm) a mérsékelt vízhiányra, mint a nővirágzás alatt (Nemeskéri et al. 2017).

Fotoszintézis szárazságban

Tartós vízhiányban, a sztómakonduktancia csökkenésével változik a fotoszintézis aktivitása. A fotoszintézis hatékonysága, távérzékelési módszerekkel sérülésmentesen mérhető és felhasználható szárazság toleráns genotípusok szelekciójára. A fotoszintézis folyamatában a fény abszorpció és fény energia alakítását kémiai energiává a fotoszintetikus pigmentek végzik a levelek fotokémiai fotoszintetikus rendszerekben (PSI, PSII). A fény energiájának csak egy része használdik fel a fotoszintézisre, vagy fluoreszcencia formájában vagy hő formájában sugárzódik ki (Lambrev et al. 2012). Ily módon a fotoszintézis aktivitása a PSII fotokémiai rendszer aktivitásával vagy a fotoszintetikus pigmentek mennyiségének mérésével végezhető (Bauerle et al. 2004). Magasabb rendű növényekben, a klorofill fluoreszcencia (Fv/Fm) 0,78-0,84 között van (Demmig és Björkman 1987), de fajtától és stressz erősségtől függően változik. Optimális vízellátásban az Fv/Fm értéke általában magas (0,75-0,81) de a növényfajta vízhiány érzékenységétől függően víz stressz alatt 2,5-14,2%-kal csökken (3. táblázat). A környezeti stresszek nemcsak a fotokémiai rendszerekben okoznak változást, hanem a levelek klorofill tartalmában is. A levelek fény abszorpciója közvetve mérhető, hordozható klorofill mérővel, ami a relatív klorofill tartalmat, a SPAD értékben adja meg. A magas SPAD érték egyidejűleg a levél alacsony víz és klorofill tartalmát jelzi, ami a fény abszorpció csökkenését és magas reflektanciát eredményez. Magas SPAD érték a zöldbabnál, kisebb érték a zöldborsónál és paradicsomnál fordult elő vízhiányban (3. táblázat).

Következtetés

A szárazság elleni védekezésben fontos élettani tulajdonságok, ma már a technológiai fejlődés eredményeképpen, távérzékelési technikákkal, sérülésmentes módszerekkel értékelhetők. A növény levelén a fotoszintetikus aktivitás nyomon követhető a klorofill tartalom és a klorofill fluoreszcencia mérésével, míg a sztómakonduktancia, a levélfelület hőmérséklet jelzi a víz stressz súlyosságát. A spektrális vegetációs indexek, mint a normalizált differencia vegetációs index (NDVI) felhasználható a növények fejlődésének, egészségi állapotának, vagy vízhiányának nyomon követésére. Az infravörös hőmérsékletmérési technikával meghatározható víz stressz index (CWSI) jelzi a lombfelület felszínhőmérséklet változását

vízhiány stressz alatt, felhasználható az öntözés tervezésében. Ezek a módszerek segítik a nemesítőket szárazságra toleráns genotípusok kiválasztásában, a termelőket a növények vízhiány mértékének mérésében és az öntözés idejének megválasztásában.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást az Innovációs és Technológiai Minisztérium támogatta a Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program (NKFIH-1159-6/2019; GINOP_2.2.1_15_2016_00003; és az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008), a Szent István Egyetem vízzel kapcsolatos kutatások programja keretében.

Irodalomjegyzék

1. Anjum, S.A., Wang, L.C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L.L. and Zou, C.M. 2011. Brassinolide Application Improves the Drought Tolerance in Maize through Modulation of Enzymatic Antioxidants and Leaf Gas Exchange. *J. Agron. Crop. Sci.* 197: 177-185.
2. Aroca, R., Porcel, R. and Ruiz-Lozano, J.M. 2012. Regulation of root water uptake under abiotic stress conditions. *J. Exp. Bot.* 63: 43-57.
3. Augé, R.M., Sylvia, D.M., Park, S., Buttery, B.R., Saxton, A.M., Moore, J.L. and Cho, K. 2004. Partitioning mycorrhizal influence on water relations of *Phaseolus vulgaris* into soil and plant components. *Can. J. Bot.* 82: 503-514.
4. Bahadur, A., Chatterjee, A., Kumar, R., Singh, M. and Naik, P.S. 2011. Physiological and biochemical basis of drought tolerance in vegetables. *Veg. Sci.* 38: 1-16.
5. Baigorri, H., Antolín, M.C. and Sánchez-Díaz, M. 1999. Reproductive response of two morphologically different pea cultivars to drought. *Eur. J. Agron.* 10: 119-128.
6. Bakr, J., Daood, H.G., Pék, Z., Helyes, L. and Posta, K. 2017. Yield and quality of mycorrhized processing tomato under water scarcity. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 15: 401-413.
7. Bakr, J., Pék, Z., Helyes, L. and Posta, K. 2018. Mycorrhizal Inoculation Alleviates Water Deficit Impact on Field-Grown Processing Tomato. *Pol. J. Environ. Stud.* 27: 1949-1958.
8. Bauerle, W.L., Weston, D.J., Bowden, J.D., Dudley, J.B. and Toler, J.E. 2004. Leaf absorptance of photosynthetically active radiation in relation to chlorophyll meter estimates among woody plant species. *Sci. Hortic.* 101: 169-178.
9. Beshir, H., Bueckert, R. and Tar'An, B. 2016. Effect of temporary drought at different growth stages on snap bean pod quality and yield. *Afr. Crop. Sci. J.* 24: 317-330.
10. Boutraa, T. and Sanders, F.E. 2001. Influence of Water Stress on Grain Yield and Vegetative Growth of Two Cultivars of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Agron. Crop. Sci.* 187: 251-257.
11. Cornic, G. and Lawlor, D.W. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant Cell Environ.* 25: 275-294.
12. Cselőtei, L. and Helyes, L. 1988. The possibility of determining irrigation requirements by means of plant temperature. *Acta Hortic.* 220: 353-358.
13. De Carvalho, M.H.C., Laffray, D. and Louguet, P. 1998. Comparison of the physiological responses of *Phaseolus vulgaris* and *Vigna unguiculata* cultivars when submitted to drought conditions. *Environ. Exp. Bot.* 40: 197-207.
14. Dejonge, K.C., Taghvaeian, S., Trout, T.J. and Comas, L.H. 2015. Comparison of canopy temperature-based water stress indices for maize. *Agric. Water Manag.* 156: 51-62.
15. Demmig, B. and Björkman, O. 1987. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta*, 170: 489-504.

16. Du, W.J., Yu, D.Y. and Fu, S.X. 2009. Analysis of QTLs for the trichome density on the upper and downer surface of leaf blade in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. *Agric. Sci. China*, 8: 529-537.
17. Durigon, A., Evers, J., Metselaar, K. and Lier, Q.D.J.V. 2019. Water Stress Permanently Alters Shoot Architecture in Common Bean Plants. *Agronomy*, 9: 160.
18. Esfahani, M.N. and Mostajeran, A. 2011. Rhizobial strain involvement in symbiosis efficiency of chickpea-rhizobia under drought stress: Plant growth, nitrogen fixation and antioxidant enzyme activities. *Acta Physiol. Plant.* 33: 1075-1083.
19. Fang, X., Turner, N.C., Yan, G., Li, F. and Siddique, K.H.M. 2010. Flower numbers, pod production, pollen viability, and pistil function are reduced and flower and pod abortion increased in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under terminal drought. *J. Exp. Bot.* 61: 335-345.
20. Fernandez, D. and Castrillo, M. 1999. Maize leaf rolling initiation. *Photosynth.* 37: 493-497.
21. Flagella, Z., Campanile, R.G., Stoppelli, M.C., De Caro, A. and Di Fonzo, N. 1998. Drought tolerance of photosynthetic electron transport under CO₂-enriched and normal air in cereal species. *Physiol. Plant.* 104: 753-759.
22. Galmés, J., Conesa, M.A., Manuel Ochogavía, J., Alejandro Perdomo, J., Francis, D.M., Ribas-Carbo, M., Save, R., Flexas, J., Medrano, H. and Cifre, J. 2011. Physiological and morphological adaptations in relation to water use efficiency in Mediterranean accessions of *Solanum lycopersicum*. *Plant Cell Environ.* 34: 245-260.
23. Garcia, A.L., Marcellis, L., Garcia-Sanchez, F., Nicolas, N. and Martinez, V. 2007. Moderate water stress affects tomato leaf water relations in dependence on the nitrogen supply. *Biol. Plant.* 51: 707-712.
24. Genc, L., Inalpulat, M., Kizil, U., Mirik, M., Smith, S.E. and Mendes, M. 2013. Determination of water stress with spectral reflectance on sweet corn (*Zea mays* L.) using classification tree (CT) analysis. *Zemdirbyste-Agriculture*, 100: 81-90.
25. González-Dugo, M.P., Moran, M.S., Mateos, L. and Bryant, R. 2006. Canopy temperature variability as an indicator of crop water stress severity. *Irrig. Sci.* 24: 233-240.
26. Gurumurthy, S., Sarkar, B., Vanaja, M., Lakshmi, J., Yadav, S.K. and Maheswari, M. 2019. Morphophysiological and biochemical changes in black gram (*Vigna mungo* L. Hepper) genotypes under drought stress at flowering stage. *Acta Physiol. Plant.* 41: 42.
27. Hardy, J.P., Anderson, V.J. and Gardner, J.S. 1995. Stomatal characteristics, conductance ratios, and drought-induced leaf modifications of semiarid grassland species. *Am. J. Bot.* 82: 1-7.
28. Helyes, L. 1990. Relations among the water supply, foliage temperature and the yield of tomato. *Acta Hort.* 277: 115-122.
29. Helyes L. 1991. A zöldség növények vízellátottságának és öntözési igényének meghatározása a lombhőmérséklettel.
30. Helyes, L. and Varga, G. 1994. Irrigation demand of tomato according to the results of three decades. *Acta Hort.* 376: 323-328.
31. Helyes, L., Varga, G., Dimény, J. and Pék, Z. 1999. The simultaneous effect of variety, irrigation and weather on tomato yield. *Acta Hort.* 487: 499-506.
32. Helyes L., Dimény J. és Varga G. 2005. Az öntözés tervezése a lombfelszín-hőmérséklet alapján. *Növénytermelés*, 54: 341-350.
33. Helyes, L., Böcs, A. and Pék, Z. 2010. Effect of water supply on canopy temperature, stomatal conductance and yield quantity of processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Int. J. Hort. Sci.* 16: 13-15.
34. Helyes, L., Szuvandsiev, P., Neményi, A., Pék, Z. and Lugasi, A. 2013. Different water supply and stomatal conductance correlates with yield quantity and quality parameters. *Acta Hort.* 971: 119-125.
35. Heszky, L. 2007. Szárazság és a növény kapcsolata. *Agrofórum*, 18: 36-41.
36. Jones, H.G. and Jones, H. 1999. Use of thermography for quantitative studies of spatial and temporal variation of stomatal conductance over leaf surfaces. *Plant Cell Environ.* 22: 1043-1055.
37. Lambrev, P.H., Miloslavina, Y., Jahns, P. and Holzwarth, A.R. 2012. On the relationship between non-photochemical quenching and photoprotection of Photosystem II. *Biochim. Biophys. Acta*, 1817: 760-769.

38. Lawson, T., Terashima, I., Fujita, T. and Wang, Y. 2018. Coordination between Photosynthesis and Stomatal Behavior. In *The Leaf: A Platform for Performing Photosynthesis*; Adams, W.W., Terashima, I., Eds.; Springer: Basel, Switzerland, 142-156.
39. Horváth, K., Andryei, B., Helyes, L., Pék, Z., Nemenyi, A. and Nemeskéri, E. 2020. Effect of mycorrhizal inoculations on physiological traits and bioactive compounds of tomato under water scarcity in field conditions. *Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca*, 48(3): 1233-1247.
40. Momonoki, Y.S. and Momonoki, T. 1993. Changes in acetylcholine –hydrolyzing activity in heat-stressed plant cultivars. *Jpn. J. Crop Sci.* 62(3): 438-446.
41. Marouelli, W.A. and Silva, W.L.C. 2007. Water tension thresholds for processing tomatoes under drip irrigation in Central Brazil. *Irrig. Sci.* 25: 411-418.
42. Mnasri, B., Aouani, M.E. and Mhamdi, R. 2007. Nodulation and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris*) under water deficiency. *Soil Biol. Biochem.* 39: 1744-1750.
43. Moser, S.B., Feil, B., Jampatong, S. and Stamp, P. 2006. Effects of pre-anthesis drought, nitrogen fertilizer rate, and variety on grain yield, yield components, and harvest index of tropical maize. *Agric. Water Manag.* 81: 41-58.
44. Nankishore, A. and Farrell, A.D. 2016. The response of contrasting tomato genotypes to combined heat and drought stress. *J. Plant Physiol.* 202: 75-82.
45. Nemeskéri, E. 1987. Yield analysis of French bean. *Acta Horticulturae*, 220: 493-498.
46. Nemeskéri, E. 1997. The nutritive quality of legume foodstuffs produced under dry growing conditions. *Acta Agron. Hung.* 45(1): 17-22.
47. Nemeskéri, E. 2001. Water deficiency resistance study on soya and bean cultivars. *Acta Agron. Hung.* 49: 83-93.
48. Nemeskéri, E. 2004. Heat tolerance in grain legumes. *Die Bodenkultur Austrian Journal of Agricultural Research*, 55. Band /Heft 1: 3-11.
49. Nemeskéri, E. 2006. Breeding strategy for improvement of colour quality and carotenoid levels in dry pea seeds. *Communications in Biometry and Crop Science*, 1(1): 49-55.
50. Nemeskéri, E., Sárdi, E., Remenyik, J., Kőszegi, B. and Nagy, P. 2010. Study of defensive mechanisms against drought of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties. *Acta Physiol. Plant.* 32: 1125-1134.
51. Nemeskéri, E., Kovács-Nagy, E., Nyéki, J. and Sárdi, É. 2015b. Responses of apple tree cultivars to drought: carbohydrate composition in the leaves. *Turk. J. Agric. For.* 39(6): 949-957.
52. Nemeskéri, E., Molnár, K., Vigh, R., Nagy, J. and Dobos, A. 2015a. Relationships between stomatal behaviour, spectral traits and water use and productivity of green peas (*Pisum sativum* L.) in dry seasons. *Acta Physiol. Plant.* 37: 1-16.
53. Nemeskéri E., Molnár K. és Dobos A.C. 2017. Csemegekukorica (*Zea mays* L. *convar. saccharata*) sztómaműködése, és hatása a növekedésre és terméskomponensekre eltérő vízellátás alatt. *Növénytermelés*, 66: 75-95.
54. Nemeskéri, E., Molnár, K., Pék, Z. and Helyes, L. 2018a. Effect of water supply on the water use-related physiological traits and yield of snap beans in dry seasons. *Irrig. Sci.* 36: 143-158.
55. Nemeskéri, E., Molnár, K. and Helyes, L. 2018b. Relationships of spectral traits with yield and nutritional quality of snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in dry seasons. *Arch. Agron. Soil Sci.* 64: 1222-1239.
56. Nemeskéri, E., Molnár, K., Rácz, C., Dobos, A.C. and Helyes, L. 2019a. Effect of Water Supply on Spectral Traits and Their Relationship with the Productivity of Sweet Corns. *Agronomy*, 9: 63.
57. Nemeskéri, E., Nemenyi, A., Böcs, A., Pék, Z. and Helyes, L. 2019b. Physiological Factors and their Relationship with the Productivity of Processing Tomato under Different Water Supplies. *Water*, 11: 586.
58. Nemeskéri, E., Horváth, K., Pék, P. and Helyes, L. 2019. Effect of mycorrhizal and bacterial products on the traits related to photosynthesis and fruit quality of tomato under water deficiency conditions. *Acta Hortic.* 61-66.

59. Ombódi, A., Pék, Z., Szuvandzsiev, P., Tóthné Taskovics, Zs., Kőházi-Kis, A., Kovács, A., Ledóné Darázi, H. and Helyes, L. 2015. Effects of External Coloured Shade Nets on Sweet Peppers Cultivated in Walk-in Plastic Tunnels. *Not Bot Horti Agrobo*, 43(2): 398-403.
60. Öktem, A. 2008. Effect of water shortage on yield, and protein and mineral compositions of drip-irrigated sweet corn in sustainable agricultural systems. *Agric. Water Manag.* 95: 1003-1010.
61. Parry, A.D. and Horgan, R. 1992. Abscisic acid biosynthesis in roots. *Planta*, 187: 185-191.
62. Pastenes, C., Pimentel, P. and Lillo, J. 2005. Leaf movements and photoinhibition in relation to water stress in field-grown beans. *J. Exp. Bot.* 56: 425-433.
63. Patanè, C., Tringali, S. and Sortino, O. 2011. Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions. *Sci. Hortic.* 129: 590-596.
64. Pék, Z., Daoood, H., Gasztonyi Nagyné, M., Neményi, A. and Helyes, L. 2013. Effect of environmental conditions and water status on the bioactive compounds of broccoli. *Central European Journal of Biology*, 8(8): 777-787.
65. Pol, M., Gołębiewska, D. and Miklewska, J. 1999. Influence of enhanced concentration of carbon dioxide and moderate drought on fluorescence induction in white clover (*Trifolium repens* L.). *Photosynthetica*, 37: 537-542.
66. Ray, P. 2015. Hi-Tech Horticulture and Climate Change. In *Climate Dynamics in Horticultural Science, Principles and Applications*; Choudhary, M.L., Patel, V.B., Siddiqui, M.W., Mahdi, S.S. Eds.; Apple Academic Press: Oakville, ON, Canada; CRC Press Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL, USA, 1: 1-22.
67. Sabagh, A.E., Barutçular, C. and Islam, M.S. 2017. Relationships between stomatal conductance and yield under deficit irrigation in maize (*Zea mays* L.). *J. Exp. Biol. Agric. Sci.* 5: 15-21.
68. Sağlam, A., Kadioglu, A., Demiralay, M. and Terzi, R. 2014. Leaf Rolling Reduces Photosynthetic Loss in Maize Under Severe Drought. *Acta Bot. Croat.* 73: 315-332.
69. Sam, O., Jeréz, E., Dell'Amico, J. and Ruiz-Sanchez, M.C. 2000. Water stress induced changes in anatomy of tomato leaf epidermis. *Biol. Plant.* 43: 275-277.
70. Sánchez, F.J., Manzanares, M., De Andres, E.F., Tenorio, J.L. and Ayerbe, L. 2001. Residual transpiration rate, epicuticular wax load and leaf colour of pea plants in drought conditions. Influence on harvest index and canopy temperature. *Eur. J. Agron.* 15: 57-70.
71. Sánchez, F.J., Manzanares, M., De Andres, E.F., Tenorio, J.L. and Ayerbe, L. 1998. Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field Crop. Res.* 59: 225-235.
72. Sing, S.K. and Reddy, K.R. 2011. Regulation of photosynthesis, fluorescence, stomatal conductance and water-use efficiency of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] under drought. *J. Photochem. Photobiol. B*, 105: 40-50.
73. Spirkó, T., Nagy, Z., Zsubori, Z.T., Szőke, C., Berzy, T., Pintér, J. and Márton, L. 2016. Connection between normalized difference vegetation index and yield in maize. *Plant Soil Environ.* 62: 293-298.
74. Stone, P.J., Wilson, D.R., Jamieson, P.D. and Gillespie, R.N. 2001. Water deficit effects on sweet corn. Part II. Canopy development. *Aust. J. Agric. Res.* 54: 115-126.
75. Taghvaeian, S., Chávez, J.L. and Hansen, N.C. 2012. Infrared thermometry to estimate crop water stress index and water use of irrigated maize in northeastern Colorado. *Remote Sens.* 4: 3619-3637.
76. Takács, S., Pék, Z., Csányi, D., Daoood, H.G., Szuvandzsiev, P., Palotás, G. and Helyes, L. 2020. Influence of water stress levels on the yield and lycopene content of tomato. *Water*, 12(8): 2165.
77. Tari, I., Camen, D., Coradini, G., Csiszár, J., Fediuc, E., Gémes, K., Lazar, A., Madosa, E., Mihacea, S., Poór, P., Postelnicu, S., Staicu, M., Szepesi, Á., Nedelea, G. and Erdei, L. 2008. Changes in chlorophyll fluorescence parameters and oxidative stress responses of bush genotypes for selecting contrasting acclimation strategies under water stress. *Acta Biol. Hung.* 59: 335-345.

78. Tian, L., Bi, W., Liu, X., Sun, L. and Li, J. 2019. Effects of waterlogging stress on the physiological response and grain-filling characteristics of spring maize (*Zea mays* L.) under field conditions. *Acta Physiol. Plant.* 41: 63.
79. Uçak, A.B., Öktemb, A., Sezerc, C., Cengizc, R. and Inald, B. 2016. Determination of arid and temperature resistant sweet corn (*Zea mays saccharata* Sturt) lines. *Int. J. Environ. Agric. Res.* 2: 79-88.
80. Zhou, R., Kong, L., Wu, Z., Rosenqvist, E., Wang, Y., Zhao, L., Zhao, T. and Ottosen, C.O. 2019. Physiological response of tomatoes at drought, heat and their combination followed by recovery. *Physiol. Plant.* 165: 144-154.
81. Zhu, M., Li, F.H. and Shi, Z.S. 2016. Morphological and photosynthetic response of waxy corn inbred line to waterlogging. *Photosynthetica*, 54: 636-640.
82. Yang, H.M., Zhang, X.Y. and Wang, G.X. 2004. Relationships between stomatal character, photosynthetic character and seed chemical composition in grass pea at different water availabilities. *J. Agric. Sci.* 142: 675-681.
83. Yan, H., Wu, L., Filardo, F., Yang, X., Zhao, X. and Fu, D. 2017. Chemical and hydraulic signals regulate stomatal behavior and photosynthetic activity in maize during progressive drought. *Acta Physiol. Plant.* 39: 125.
84. Yordanov, I., Velikova, V. and Tsonev, T. 2000. Plant Responses to Drought, Acclimation, and Stress Tolerance. *Photosynthetica*, 38: 171-186.

Water stress responses of vegetable plant species

ÉGEI M., BALÁZS V.

Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Institute of Horticulture

E-mail: Egei.Marton@uni-mate.hu

Summary

The frequency of drought periods influences the productivity of vegetable crops under open field conditions. The change in morphology and anatomy of plants has been tested during drought stress under controlled conditions, however the change in physiological processes has not been adequately studied in separate works, therefore, needs to be reviewed collectively. This review presents the responses of green pea, green bean, tomato and sweet corn to water stress based on their stomatal behavior, canopy temperature, chlorophyll fluorescence and the chlorophyll content of leaves. These stress indicators can be used for the evaluation of the drought tolerance of genotypes and the irrigation schedules.

Keywords: vegetable crops, stomatal conductance, canopy temperature, water stress

Szerzők

Égei Márton (kapcsolattartó szerző) – doktorjelölt, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Kertészettudományi Intézet, 2100 Gödöllő, Páter Károly u.1.

Balázs Viktor – PhD hallgató, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Kertészettudományi Intézet, 2100 Gödöllő, Páter Károly u.1.

Kertgazdaság



A LEGÚJABB TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK A KERTÉSZETI TERMESZTÉS VILÁGÁBÓL

A folyóirat előfizethető a kiadónál,
az info@agrarlapok.hu e-mailcímen,
illetve a következő postacímen:
Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft.
1223 Budapest, Park u. 2.

A borítékra kérjük, írja rá: „Folyóirat-megrendelés”
Előfizetési díj egy évre: **6600 forint.**
További információ az info@agrarlapok.hu címen
vagy a 06-1-362-8141 telefonszámon.