

## A növények vízhasznosító képességének számítási módjai és meghatározó faktorai

FARKAS ZSUZSANNA<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ATK Mezőgazdasági Intézet, Martonvásár

<sup>2</sup> PE GK Festetics Doktori Iskola, Keszthely

E-mail: farkas.zsuzsanna@agrar.mta.hu

### Bevezetés

Korunk egyik legnagyobb kihívása: az egyre növekvő népesség megfelelő táplálása. Jelenleg hozzávetőlegesen 7,7 milliárd ember él a Földön és ez a szám várhatóan csak emelkedni fog (Worldometers 2020). Új termőterületek bevonása vagy technológiai újítások nélkül csak a növények produktivitásának növelése lehet az egyetlen járható út az éhínségek elkerülésére. Természetesen ez a produktivitásnövelés csak akkor hasznos és kívánatos, ha a mezőgazdasági termelés fenntarthatósága megőrizhető. A csapadék eloszlásában és intenzitásában (mely a hasznosulás mértékét is meghatározza) tapasztalható változékonyság a részben antropogén eredetű klímaváltozás következtében egyre jelentősebb, így egyre nehezebbnek tűnik a biztonságos élelmiszerellátás (Wollenweber és mtsai 2003; Liu és Allan 2013). A jövő kihívásainak leküzdésében nagy szerepe lehet az olyan genetikai tényezők mélyebb ismeretének, melyek a szezonális vízhasznosítás és a termésmennyiség variabilitásáért felelnek. Ezen ismeretek segítségével a növénynevelőknek lehetőségük lesz arra, hogy olyan hatékonyabb stratégiát dolgozhassanak ki, és ehhez megfelelő növényi alapanyagot biztosítsanak, mely növelni képes az optimalizált vízfelhasználáson alapuló termőképességet. A csapadékeloszlás és – mennyiség változása miatt várhatóan az aszály egyre nagyobb területet érinthet hazánkban is (Bartholy és Pongráz 2007), ezért a vízhasznosítás javítása döntő jelentőséggel fog bírni a növények potenciális termőképességének kiaknázásában. Habár évezredek óta javítják különböző öntözési technológiákkal a termesztett növényeink hozamát, az egyre fogyatkozó vízkészleteink lassan megakadályozzák haszonnövényeink öntözhetőségét. Világviszonylatban hozzávetőlegesen mintegy 324 millió hektárnyi terület áll öntözés alatt, ez az összes termőterület 21%-a. A rizstermesztés, illetve extrém népességszám miatt Ázsiában található a legtöbb öntözött terület, ezt követi Észak- és Dél Amerika, Európa és Afrika. Öntözési módok közül a felszíni öntözés a legerjedtebb, az öntözött területek több mint háromnegyedét öntözik ilyen módon, a maradék negyed területet vagy esőszerű öntözési módon, vagy mikroöntözéssel művelik (AQUASTAT 2014). Hazánkban az Alföldön öntöznek a legtöbbet, 2018-ban a Dél-Alföldön öntöztek a legnagyobb területen és Észak-Alföldön öntözték a legnagyobb mennyiségű vizet, túlnyomórészt felszíni vizekből (Marosán 2019). Számos nemesítési program egyik célja a növények vízhasznosításának javítása, természetesen figyelembe véve

az egyre fogyatkozó édesvízkészleteket. Ahhoz hogy a nemesítők munkája révén előállított célirányos fajták minél nagyobb produkciót érhessenek el a rendelkezésre álló vízkészletek felhasználásával, megfelelően mély tudással kell rendelkezniük az adott szakterületen. Mindezt nagyon fontos a lehető legszerteágazóbb tudás megszerzése a növények vízhasznosításáról, minél több faj, illetve fajta esetében. A következőkben a vízhasznosító képesség értelmezéséről, számolási módszereiről és a vízhasznosítást befolyásoló tényezőkről szóló irodalmi forrásokat foglalom össze.

### A vízhasznosító képesség fogalma és számítási módjai

A növényi vízhasznosító képesség (angolul, water-use efficiency, WUE) fogalmát több mint 100 évvel ezelőtt Briggs és Shantz (1913) szerzőpáros vezette be. A fogalom általános értelmezésén a megtermelt szervesanyag és az ehhez felhasznált víz hányadosát értjük. Alapvetően két különböző módszerrel szokás meghatározni. Az agronómiai értelmezés (angolul „water-use efficiency of productivity” vagy „integrated water-use efficiency” esetleg „seasonal” vagy „integral over time water-use efficiency”) a termés (biomassza, vagy termés értelemben) és a vegetáció során felhasznált összes vízmennyiség hányadosa. A fiziológiai értelmezés (angolul „photosynthetic water-use efficiency” vagy „instantaneous water-use efficiency” esetleg „leaf water-use efficiency”) szerint a  $\text{CO}_2$  asszimiláció és a transzspiráció hányadosa ez az érték. Míg az első értelmezés a növény teljes életteljesítményére vonatkozik, addig az utóbbi értelmezés mérése egy adott pillanatban mért érték, így mintegy kvázi pillanatfelvételenként értelmezhető (Bacon 2004).

A vízhasznosító képesség fogalmának jelentőségét nagyon jól példázza az, hogy számos számítási módjával találkozhatunk a különböző tudományos munkákban. Először a fiziológiai értelmezés számítási módjait szeretném összegezni.

Kirkham (2005) szerint a fiziológiai vízhasznosító képesség a nettó fotoszintézis és az evapotranszpiráció hányadosaként értelmezhető (1. egyenlet).

$$\text{WUE}_{\text{instantaneous}} = A/E \quad (1),$$

ahol  $\text{WUE}_{\text{instantaneous}}$  a fiziológiai vízhasznosító képességet,  $A$  a nettó  $\text{CO}_2$  asszimilációt,  $E$  és  $T$  is jelölheti az evapotranszpirációt jelöli.

Polley (2002) viszont egy másik egyenlettel (2. egyenlet) értelmezi ezt a fogalmat.

$$\text{TE} = \frac{A}{E} = \frac{1}{\Delta w} \times \frac{A}{g} = \frac{1}{\Delta w} \times \frac{(c_a - c_i)g_c}{1,6g_c} = \frac{1}{\Delta w} \times \frac{c_a(1 - \frac{c_i}{c_a})}{1,6} \quad (2),$$

ahol  $\text{TE}$  a fiziológiai vízhasznosítást (angolul ebben az esetben „transpiration efficiency”),  $A$  a nettó  $\text{CO}_2$  asszimilációt,  $E$  az evapotranszpirációt,  $c_a$  és  $c_i$  a külső és az intercelluláris  $\text{CO}_2$  koncentrációt jelöli, míg a  $\Delta w$  az aktuális párányomás különbsége a levél belső légtere a sztóma közelében és a szabad levegő között,  $g$  és  $g_c$  a sztómakonduktancia és a légnedvességre és a szén-dioxidra vonatkozik.

Bierhuizen és Slatyer (1965) egy meglehetősen összetett egyenlettel számította ki a fiziológiai vízhasznosító képességet (3. egyenlet).

$$WUE_i = \frac{CER}{TR} = \frac{k}{(e^* - e) \left( \frac{r'_a + r'_c + r_m}{r_a + r_c} \right)} \quad (3),$$

ahol  $WUE_i$  a fiziológiai vízhasznosító képességet,  $CER$  a nettó  $CO_2$  kicserélés rátáját,  $TR$  az evapotranszpirációt,  $k$  a növényfüggő változót,  $e^* - e$  relatív légnedvességet,  $r_a$  a felszíni réteg ellenállását a légnedvesség áramlásával szemben,  $r_c$  a sztómaellenállást;  $r'$  a  $CO_2$  diffúziós ellenállást;  $r_m$  a mezofillum ellenállását jelöli a  $CO_2$  diffúzióval szemben.

Du és mtsai (2008) viszont viszonylag egyszerűen számították ki ezt az értéket a szőlő (*Vitis vinifera* L. cv. Rizamat) esetében; a  $CO_2$  fogyasztást osztották el a vízvesztéssel. Glenn és mtsai (2000) őszibarackon (*Prunus persica* (L.) Batsch.) végzett kísérleteiken a nettó  $CO_2$  asszimilációt osztották el az elpárologtatott víz mennyiségével. Wibble és Blanke (1995) a moláris nettó fotoszintézist arányította a vízfelhasználáshoz hároméves almafáknál (*Malus × domestica* Borkh. cv. Golden Delicious). Liu és mtsai (2012) 31 almafajta esetében a következő egyenlettel számolták ki a fiziológiai vízhasznosító képességet (4. egyenlet).

$$WUE_i = \frac{A}{T_T} \quad (4),$$

ahol  $WUE_i$  a fiziológiai vízhasznosító képességet,  $A$  a fotoszintézis rátáját és  $T_T$  transzspirációs rátát jelöli.

$WUE_{instantaneous}$  értékeket általában infravörös gázanalizátorral vagy porometriás módszerrel vizsgálják (Tambussi és mtsai 2004). Egy kapcsolódó paramétert, a belső vízhasznosító képességet (angolul „intrinsic water-use efficiency”) Tambussi és mtsai (2007) mint a nettó  $CO_2$  asszimiláció és a sztómakonduktancia aránya számítja. Medrano és mtsai (2015) viszont a következő módon számolták ki két borszőlőfajta (Tempranillo és Grenache) esetében (5. egyenlet). Ellsworth és munkatársai (1994) cukorjuhar (*Acer saccharum* Marsh.) esetében szintén az 5. egyenletben leírtak szerint számolták ki ezt az értéket. Liu és mtsai (2005a) szintén ezt az egyenletet alkalmazták burgonya (*Solanum tuberosum* L. cv. Folva) fotoszintetikus vízhasznosító képességének meghatározásához azzal a különbséggel, hogy ők nem  $A_N$ -nel csak  $A$ -val jelölték a  $CO_2$  asszimilációt. Illetve szója (*Glycine max* L. Merr.) esetében is kiszámolták ezt az értéket, itt is az 5. egyenletben leírt módon, csak ebben az esetben nem  $A_N$ -nel hanem  $A_{max}$ -szal jelölték a  $CO_2$  asszimilációt a levelek szintjén ( $WUE_{leaf}$ ) számított vízhasznosító képességénél (Liu és mtsai 2005b).

$$WUE_{intrinsic} = A_N / g_s \quad (5),$$

ahol  $A_N$  a  $CO_2$  asszimilációt és  $g_s$  pedig a levelek napi maximum sztómakonduktanciáját jelöli. Habár az agronómiai vízhasznosítás képességet inkább szántóföldi, mint kertészeti növények esetében szokás megadni, a következőben mindkét területről mutatok be példákat. Hillel (1997) a mindenhol használható agronómiai vízhasznosító képességet a következő egyenletekkel határozta meg (6. és 7. egyenlet).

$$F_{ag} = \frac{P}{U} \text{ és } F_{ag} = \frac{P}{R+D+E_p+E_s+T_w+T_c} \quad (6), (7),$$

ahol  $F_{ag}$  az agronómiai vízhasznosító képességet,  $P$  a terményt (teljes szárazanyag tartalom vagy azt a jelentékeny terményt, ami a fajadottság),  $U$  a felhasznált víz mennyiségét,  $R$  a szántóföldről elfolyó víz mennyiségét,  $D$  a gyökérszóna alól átszűrődött víz mennyiségét,  $E_p$  az evaporáció általi vízvesztést,  $E_s$  a talajfelszínről elpárolgott víz mennyiségét,  $T_w$  a gyomnövények transzspirációját és  $T_c$  a haszonnövények transzspirációját jelöli.

Cantore és mtsai (2016) a 6. egyenletet használták cseresznyeparadicsom (*Solanum lycopersicum* L. Tomato cv Tomito F1) esetében. de Wit 1958-ban a hozam és a transzspiráció kapcsolatát a következőképpen (8. egyenlet) határozta meg.

$$\frac{Y_A}{T_a} = \frac{m}{T_{max}} \quad (8),$$

ahol  $Y_A$  teljes száraztömeget,  $T_a$  tenyészidőszak alatti transzspirációt,  $T_{max}$  az átlagos szabad vízfelszín evaporációját, az  $m$  egy konstans jelöl. Az  $m$  konstans a Briggs és Shantz (1917) által használatos WR/ pan egyenlethez kapcsolódik ( $1/m \approx WR/pan$ ; WR: vízigény, pan: potenciális evapotranszspiráció /kádpárolgás/).

Hoffman (2011) a gabonák esetében alkalmazandó formulát a következőképpen írta le (9. egyenlet).

$$WUE = \frac{GY}{W \times HI} \quad (9),$$

ahol  $GY$  (Grain Yield) a szemtermést;  $W$  (Water) a növény által felhasznált és az elpárolgott összes vizet;  $WUE$  (Water-Use Efficiency) a vízfelhasználás hatékonyságát,  $HI$  (Harvest Index) a szemtermés és az összes biomassa hányadosát jelöli.

Siddique és mtsai (2001) szintén ezt alkalmazták (9. egyenlet) számos hüvelyes esetében, de egy kis változtatással, náluk  $Y$  szerepelt  $GY$  helyett a szemtermés jelölésére. Kísérletükben vizsgálták a borsó (*Pisum sativum* L.), a lóbab (*Vicia faba* L.), a csicseriborsó (*Cicer arietinum* L.), a főzőlencse (*Lens culinaris* Med.), a fehér csillagfürt (*Lupinus albus* L.), a csicserilednek (*Lathyrus cicera* L.), a *Lathyrus orchus* L., a szegletes lednek (*Lathyrus sativus* L.), a fogaslevelű bükköny (*Vicia narbonsensis* L.), takarmánybükköny (*Vicia sativa* L.) és *Vicia benghalensis* L. vízhasznosító képességét. Farkas és mtsai (2020) az őszi búzák (*Triticum aestivum* L.) vízhasznosító képességének kiszámításához a termésmennyiség adatokat elosztották a tenyészidőszakban mérhető növényi vízigénnyel. Tambussi és mtsai 2007-ben két különböző agronómiai vízhasznosító képességet különböztettek meg. Az egyik esetben, amit a biomásszóra vonatkoztattak és  $WUE_{biomass}$ -nak neveztek, a száraztömeget osztották el az evapotranszspiráció értékével. Míg a másik esetben, melynek a  $WUE_{yield}$  nevet adták, a szemtermés értékét osztották el az evapotranszspiráció mértékével (Tambussi és mtsai 2007). Centritto és mtsai (1999) cseresznye (*Prunus avium* L.) esetében a teljes száraztömeget és a felhasznált víz mennyiségét arányították. Liu és mtsai (2005b) szója (*Glycine max* L. Merr.)

esetében a szárak száraztömeg értékének mennyiségét osztották a növények transzspirációjával, és  $WUE_{\text{plant}}$  nevet adták a vízhasznosító képességnek. Kaya és mtsai (2003) görögdinnye (*Citrullus lanatus* Thunb.) agronómiai vízhasznosító képességét úgy számították ki, hogy a termés mennyiségének értékét elosztották a vízhasznosítás mértékével. Rouphael és mtsai (2008) a görögdinnye esetében viszont a  $WUE_y$ -t (vagyis a yield water-use efficiency) úgy határozták meg, hogy a piac-képes termés mennyiségét elosztották a szezonális növényi evapotranspirációval. Du és mtsai (2008), illetve Cui és mtsai (2008) szőlő (*Vitis vinifera* L.), illetve kínai datolya (*Zizyus jujube* Mill.) esetén is így számították ki (vagyis a teljes termés mennyiségét elosztották a felhasznált víz mennyiségével). Centritto és mtsai (2002) barack (*Prunus persica* L.) esetében a száraztömeget osztották el a teljes növényi vízfelvételi értékkel. López-Urrea és mtsai (2009) brokkoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck.) esetében szintén ezzel a módszerrel számították ki ezt az értéket. Ezzel szemben Aujsa és mtsai 2007-ben padlizsánnál (*Solanum melongena* L.) az egy hektárra eső friss termésbiomassza értékét osztották el a felhasznált víz mennyiségével. A vízfelvétel mértékét az öntözés és a tenyészidőszak során esett csapadék összegeként határozták meg (Aujsa és mtsai 2007). Zahir és mtsai (2008) borsó (*Pisum sativum* L.) esetében szintén a nedvestömeget vették alapul. Nemeskéri és mtsai (2018) veteménybab (*Phaseolus vulgaris* L.) esetében a növények vízhasznosító képességének kiszámításához a terményt elosztották az evapotranspiráció mértékével. Yaghi és mtsai (2013) a következő módon számították ki uborka (*Cucumis sativus* L.) esetében a vízhasznosító képességet (10. egyenlet).

$$WUE = \frac{CY}{WA} \quad (10),$$

ahol  $WUE$  a vízhasznosító képeséget,  $CY$  a teljes termés mennyiségét,  $WA$  pedig a teljes alkalmazott víz mélységét jelöli.

Medrano és mtsai (2015) két borszőlőfajta (Tempranillo és Grenache) esetében viszont bővítettebb egyenlettel végezték számításukat (11. egyenlet).

$$WUE_{WP} = \frac{\text{a végső biomassza száraz tömege} - \text{a kezdeti biomassza száraz tömege}}{\text{az összes felhasznált víz mennyisége}} \quad (11),$$

ahol  $WUE_{WP}$  a teljes növényre (WP: Whole Plant) vonatkoztatott vízhasznosító képeséget ( $\text{gL}^{-1}$ ) jelöli.

Liu és mtsai (2012) 31 almafajta esetében nem csak fiziológiai, hanem agronómiai vízhasznosító képeséget is kiszámolták. Tartamkísérleteikben a következő egyenletet alkalmazták (12. egyenlet).

$$WUE_L = (W_E - W_B) / W_w \quad (12),$$

ahol  $WUE_L$  az agronómiai vízhasznosító képeséget,  $W_E$  a végső száraz tömeget,  $W_B$  a kezdeti száraz tömeget,  $W_w$  a tenyészidőszak alatt elpárolgott teljes víz mennyiségét jelöli.

Habár Viets 1962-ben már megalkotta az agronómiában általánosan használatos vízhasznosító képeség meghatározását (13. egyenlet), a legtöbb vízhasznosító képeséget kiszámító egyenlet

az öntözéssel nem foglalkozik. Bos (1980; 1985) munkájában olyan egyenleteket alkotott meg, melyek kifejezik az öntözés szerepét a növények vízhasznosító képességében (14., 15. egyenlet).

$$WUE = \frac{\text{terméshozam (általában az eladható termés mennyisége)}}{\text{a terméshozamhoz felhasznált víz mennyisége}} \quad (13),$$

$$ET_{WUE} = \frac{Y_i - Y_d}{ET_i - ET_d} \quad \text{és} \quad I_{WUE} = \frac{Y_i - Y_d}{I_i} \quad (14), (15),$$

Ahol  $Y_i$  az öntözést kapott növények terményét,  $ET_i$  az öntözött növények evapotranszpirációja,  $Y_d$  a természetes csapadékot hasznosító vagy nem öntözött növények terményét,  $ET_d$  egyenlő a természetes csapadékot hasznosító vagy nem öntözött növények evapotranszpirációjával,  $I_i$  pedig az öntözés mennyiségét jelöli. A legtöbb száraz területen  $Y_d$  nulla vagy nagyon kis érték lenne.

Howell és mtsai (1990), Cooper és mtsai (1987), valamint Gregory (1990) munkái alapján megalkották saját értelmezésüket (16. egyenlet).

$$WUE = \frac{HI \times DM}{\{T(1-WC) \left[ 1 + \frac{E}{(P+I+SW-D-Q-E)} \right] \}} \quad (16),$$

ahol  $HI$  a Harvest-indexet,  $DM$  a száraztömeget,  $T$  a transzspirációt,  $WC$  a standard víztartalmat jelöli a terményre vonatkoztatva (0,15-0,155 a kukoricánál és 0,14 a gabonáknál),  $E$  a talajvíz evaporációját,  $P$  a csapadék mennyiségét,  $I$  az öntözés mennyiségét,  $SW$  a gyökérszónai vízfolyást,  $D$  a mélyebb talajrétegekben lévő vízszivárgást,  $Q$  a felszíni elfolyást jelöli.

Yang és mtsai (2013) a 17. és 18. egyenlet alapján számolták ki kétéves körtefák (*Pyrus than bretscheider* vc. Dangshan SUS) vízhasznosító és öntözés melletti vízhasznosító képességét.

$$WUE_{ET} = \frac{W}{ET} \quad \text{és} \quad WUE_1 = \frac{W}{I} \quad (17), (18),$$

ahol  $WUE$  a vízhasznosító képességet,  $ET$  a tenyészidőszaki evapotranszpirációt,  $W$  az egyes fánként szüretelt teljes száraz biomasszát,  $I$  a fánkénti teljes öntözést (ebbe beletartozik az átültetés utáni öntözés is) jelöli.

Du és mtsai (2017) viszont másképp határozták meg az általuk vizsgált almafák (*Malus × domestica* Borkh. cv. Golden Delicious) öntözés melletti vízhasznosító képességét (19. és 20. egyenlet).

$$WUE_{ET} = \frac{1}{10} \times \frac{Y}{ET} \quad \text{és} \quad WUE_1 = \frac{1}{10} \times \frac{Y_1 \times Y_2}{I} \quad (19), (20),$$

ahol  $WUE_{ET}$  a fák evapotranszpirációján alapuló vízhasznosító képességet,  $Y$  a termést,  $ET$  a fák evapotranszpirációját,  $WUE_1$  az öntözéses vízhasznosító képességet,  $I$  a teljes öntözést,  $Y_1$  az öntözés melletti termésmennyiséget,  $Y_2$  az öntözés nélküli, csak természetes csapadékot kapó növények termését jelöli.

Shahnazari és mtsai (2007) az általuk vizsgált burgonyák (*Solanum tuberosum* L. cv. Folva) vízhasznosító képességét úgy számították ki, hogy a növények teljes nedves tömegét elosztották az öntözött víz mennyiségével. Szén izotóp diszkriminációval is becsülhető a növényi vízhasznosító képesség, az 5. egyenletben olvasható módon (Tambussi 2007). A szén izotóp diszkriminációval ( $\Delta 13C$ ) a növényi szárazanyagban és az atmoszférában található stabil szén izotópok ( $13C/12C$ ) arányát mérjük (Tambussi 2007). Impa és mtsai (2005) ezzel a módszerrel mérték a rizs (*Oryza sativa* L.) vízhasznosító képességét.

1. táblázat A növényi vízhasznosító képesség kiszámításánál használt rövidítések és mértékegységek

	Rövidítések	Mértékegységek
	WUE	
	WUE <sub>1</sub>	
vízhasznosító képesség	WUE <sub>instantaneous</sub>	$\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{mmol}^{-1}\cdot\text{H}_2\text{O}$
	WUE <sub>intrinsic</sub>	$\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$
	WUE <sub>WP</sub>	$\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$
	WUE <sub>L</sub>	$\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$
	WUE <sub>biomass</sub>	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
	WUE <sub>yield</sub>	$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$
	WUE <sub>leaf</sub>	
	WUE <sub>plant</sub>	
	$I_{\text{WUE}}$	
transzspiráció/ evapotranszspiráció	E	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
	TR	$\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
	T <sub>r</sub>	$\text{mmol}\cdot\text{H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
	T <sub>max</sub>	
nettó CO <sub>2</sub> asszimiláció	PN <sub>A</sub>	$\text{g}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
	P <sub>N</sub>	$\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
	A	$\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
	A <sub>N</sub>	
sztómakonduktancia	G <sub>s</sub>	$\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
	g <sub>s</sub>	$\text{mol}\cdot\text{H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
	S <sub>g</sub>	
termés mennyisége	CY	kg
	GY	$\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$
	P	g
	Y	$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$
		$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$
felhasznált víz mennyisége	WA	$\text{m}^3$
	W	mm
	U	L
	I	

Table 1. Abbreviations and units to calculation of water-use efficiency

Ahogy a fentiekből kitűnik, a vízhasznosító képességet különböző szinteken értelmezhetjük. A levél szintjén (a levelek fotoszintetikus rátáját osztva a transzspirációs rátával), az egész növény szintjén (a száraztömeg és a felhasznált víz mennyiségének aránya), illetve a teljes termés szintjén (szemtermés tömege osztva a területegységre eső transzspirációval). A különböző szerzők különböző módon értelmezik ezt az értéket, viszont megfontolva döntsünk, ha választani akarunk a különböző értelmezések közül, hiszen számos faktor befolyásolhatja a terményt vagy a termés mennyiségét attól függően, hogy öntözött vagy öntözetlen területről beszélünk. Ezek a faktorok magukban foglalják a fertilitást, a fajta-variabilitást, a kártevők elleni védekezési módot, a vetésidőt, a talaj víztartalmát, az ültetési sűrűséget és sortávot (Howell 2001).

Az 1. táblázatban röviden összefoglaltam az általam olvasott szaklapokban megtalálható vízhasznosító képesség számításához szükséges egyenletekben használt rövidítéseket és mérőszámok mértékegységeit.

### A vízhasznosító képesség meghatározó faktori

A növények vízhasznosító képességét számos biológiai és környezeti tényező meghatározhatja (1. ábra). Az egyik legfontosabb tényező a növények fenológiai fejlődését és a csapadék szezonális megoszlását, illetve egymáshoz való viszonyát érinti. Míg a korai gyors növényfejlődés mind a felhasznált összes víz mennyiségét, mind a vízhasznosító képességet növeli, addig a fejlett növények mélyreható gyökerei több víz felhasználását teszik lehetővé. A virágzás időpontja is meghatározó lehet, a korán virágzó fajtáknál kevesebb mobilizálható szervesanyagtartalék halmozódik fel szemtelítődéskor a vegetatív szövetekben, mint a késői érésű fajtáknál (Passioura 2002).

#### 1. ábra. A vízhasznosítást meghatározó tényezők (Tambussi és mtsai 2007; Medrano és mtsai 2015 alapján)

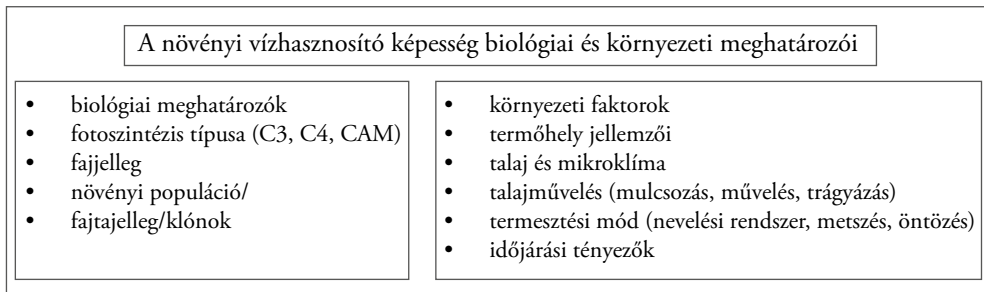


Figure 1. Determining factors of water-use (according to Tambussi, 2007; Medrano, 2015)

Kísérletekkel bizonyították, hogy a növényi tápanyagellátás, de a nitrogén-ellátottság kiemelten befolyásolja a növényi vízhasznosítást és a szárazságtűrést. A nitrogénhiány növeli az egységnyi levélfelületre eső transzspirációt, ezáltal csökkentve a növények vízhasznosítását (van Herwaarden és mtsai 1998). A növények vízhasznosító képességének növekedése például egy jellemző válaszreakció a közepes vagy jelentős vízhiányos környezetre. Ez a képességnövekedés a növények alkalmazkodási reakciójának eredményeképpen jöhet létre, melynek mértéke genotípusfüggő (Liu és mtsai 2012).



A részben antropogén hatások miatt bekövetkezett, és várhatóan egyre jelentősebb éghajlatváltozás miatt, a légköri CO<sub>2</sub> tartalom növekedésére számíthatunk. A megnövekedett légköri CO<sub>2</sub> szint részleges sztómazáródást okoz, ezáltal csökkentve a transzspiráció mértékét (Kimball 1983), illetve javíthatja a növényi vízhasznosító képességet (Nemeskéri és Helyes 2019). Ha jó a talaj vízellátottsága, és az előbb említett okokból adódó transzspiráció-csökkenés jelentkezik, akkor szezonális vízfogyasztás-csökkenést figyelhetünk meg. De ezzel ellentétes folyamatokat is tapasztaltak. A sztómazáródás miatti megnövekedett levélzeti hőmérséklet, a megnövekedett levélterület miatt fokozódik a transzspiráció. Valamint azt is tapasztalták, hogy a növényállományban tapasztalható mikroklíma-változások miatt a CO<sub>2</sub> koncentráció növekedése okozta transzspirációs változás az állományban mérve kisebbnek bizonyult, mint egyedi leveleken mérve. A CO<sub>2</sub> koncentráció-növekedés hatása a növényi vízellátottságra többszörös kölcsönhatás (Láng 2007; Hoffman 2011). Mint az közismert tény, a fotoszintézis szolgáltat alapot a növényeknek, hogy felhalmozhassanak szerves anyagokat, biomassza és termés képződhessen. A növényi fotoszintézis aktivitása a fény, illetve hőmérsékleti viszonyok változásának függvénye, jellegzetes napi görbét mutat, de értéke a növény általános élettani állapotától és környezeti hatásoktól, mint például a vízellátottságtól is függ. A distresszként érzékelt szárazságstressz hatására az abszcizinsav (ABS) szintézis fokozódik, ez a stresszhormon-szint emelkedése a sztómák bezáródását váltja ki. A zárósejtek a sztómák nyitásával és zárásával befolyásolják a növényi vízvesztés mértékét, a CO<sub>2</sub> felvételét. A jó vízellátottságú növények aktív anyagcserét, szervesanyag-felhalmozást folytatnak, vízhiányos állapotban a megkötött CO<sub>2</sub> mennyisége csökken, végül (C3-as fotoszintézisű növényeknél) fokozott fotorespiráció lép fel. Ebben az esetben csökken a szervesanyag-felhalmozás, fénylélegzési szénvesztesség jelentkezik. A vízhiányra érzékeny genotípusok intenzívebben fotorespirálnak, az extenzív genotípusok a sztómák korai zárásával reagálnak a vízhiányra (Fodor 2013). Hasonló körülmények között a C4-es növények vízhasznosító képessége másfélszer – négyszer, míg a CAM típusú növényeké három – tízszer nagyobb, mint a C3-as növényeké (Kocacinar és Sage 2005). Azok a jellegek, melyek CO<sub>2</sub> fixációt és a növény víz állapotát is érintik, egy bizonyos mértékig befolyásolják a vízhasznosítást. Tehát ennek genetikai alapjai valójában átfedik mindazokat a géneket, melyek a növény szén- és vízmérlegének szabályozásában szerepet játszó biokémiai és morfo-fiziológiai jellegeket szabályozzák (mint például klorofill tartalom, foszfoenol-piruvát karboxilát aktivitás, a gyökér mérete és szerkezete, ozmotikus alkalmazkodás, abszcizinsav koncentráció, sztómakonduktancia, a levél vastagsága és állásának szöge, stb.) (Hoffmann 2011, Nyitrai és Solti 2013). A növények vízhasznosító képességét számos terméstechnológiai tényező is befolyásolhatja, ilyek tényezők például a tápanyagellátottság, a mikorrhizálás, vagy az öntözés. A szabályozott deficitöntözés (Regulated Deficit Irrigation, RDF), a részleges gyökérszóna öntözés (Partial Root-zone Drying Irrigation, PRD) és precíziós öntözés javíthatja a vízfelhasználás hatékonyságát (Bogale és mtsai 2016; O’Shaughnessy és mtsai 2016). Korlátozott vízviszonyok mellett, a növényi vízhasznosítás hatékonysága meghatározza a produktivitást, illetve összefügg a sztóma-működéssel és –sűrűséggel (Hardy és mtsai 1995). Az öntözés mértéke erős összefüggést mutat a növényi sztómakonduktanciával és levélfelület hőmérsékletével (Nemeskéri és mtsai 2019; Bócs és mtsai 2009; 2010). Különböző kísérletekkel bizonyították, hogy a különböző Rhizobium baktériumok használata, mint biofertilizátor, javíthatja a növények vízhasznosító képességét (Le és mtsai 2018; Bark és mtsai 2018). Ezek a növény-növekedést támogató készítmények mitigáló hatással bírnak a vízstresszre.

Ahogy ez előzőekben olvashattuk, a növények vízhasznosító képességének különböző számítási módja lehetséges, mind szántóföldi mind kertészeti növények körében. Továbbá a vízhasznosító képességet számos biológiai, illetve környezeti tényező is befolyásolhatja. Mivel a Föld édesvíz-készlete véges, és a jövőre vonatkoztatott predikciók szerint várhatóan csökkenni is fog, ezért egyre sürgetőbb szükségé válik olyan fajták nemesítése, melyek vízhasznosító képessége fokozható öntözéssel technológia alkalmazásának elhagyása mellett.

### Köszönetnyilvánítás

A publikáció elkészítését a EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

### Irodalomjegyzék

1. AQUASTAT, 2014. FAO's Global Information System on Water and Agriculture. <http://www.fao.org/3/I9253EN/i9253en.pdf>
2. Aujla, M.S., Thind, M.S. and Buttar, G.S. 2007. Fruit yield and water use efficiency of eggplant (*Solanum melongena* L.) as influenced by different quantities of nitrogen and water applied through drip and furrow irrigation. *Scientia Horticulturae*, 112: 142-148.
3. Bacon, M. 2004. *Water Use Efficiency in Plant Biology*. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.
4. Bark, J., Pék, Z., Helyes, L. and Posta, K. 2018. Mycorrhizal inoculation alleviates water deficit impact on field-grown processing tomato. *Pol. J. Environ. Stud.* 27(5): 1949-1958.
5. Bartholy, J. and Pongráz, R. 2007. Regional analysis of extreme temperature and precipitation indices for the Carpathian Basin from 1946 to 2001. *Glob. Planet. Change*, 57: 83-95.
6. Bierhuizen, J.F. and Slatyer, R.I. 1965. Effect of atmospheric concentration of water vapour and CO<sub>2</sub> in determining transpiration-photosynthesis relationships of cotton leaves. *Agr. Meteorol.* 2: 259-270.
7. Bogale, A., Nagle, M., Latif, S., Aguila, M. and Müller, J. 2016. Regulated deficit irrigation and partial root-zone drying irrigation impact bioactive compounds and antioxidant activity in two selected tomato cultivars. *Scientia Horticulturae*, 213: 115-124.
8. Bos, M.G. 1980. Irrigation efficiencies at crop production level. *ICID Bull.* 29: 18-25.
9. Bos, M.G. 1985. Summary of ICDC definitions of irrigation efficiency. *ICDC Bull.* 34: 28-31.
10. Böcs, A., Pék, Z., Helyes, L., Neményi, A. and Komjáthy, L. 2009. Effect of water supply on canopy temperature and yield of processing tomato. *Cereal Research Communications*, 37: 113-116.
11. Böcs, A., Pék, Z. and Helyes, L. 2010. A vízellátottság hatása az ipari paradicsom szómakonduktanciájára, levélfelület-hőmérsékletére és termésmennyiségére. *Kertgazdaság*, 42(1): 3-9.
12. Briggs, L.J. and Shantz, H.L. 1913. The water requirement of plants: I., Investigations in the Great Plains in 1910 and 1911. *USDA in Bureau of Plant Industry Bulletin* (Washington, DC: US Department of Agriculture), 282-285.
13. Briggs, L.J. and Shantz, H.L. 1917. A comparison of the hourly transpiration rate of atmometers and free water surfaces with the transpiration rate of *Medicago sativa*. *J. Agr. Res.* 9(9): 279-292.
14. Cantore, V., Lechar, O., Karabulut, E., Sellami, M.H., Albrizio, R., Boari, F. and Tomodorovic, M. 2016. Combined effect of deficit irrigation and strobilurin application on yield, fruit quality and water use efficiency of "cherry" potato (*Solanum lycopersicum* L.). *Agricultural Water Management*, 167: 53-61.
15. Centritto, M., Lee, H.S.J. and Jarvis, P.G. 1999. Interactive effects of elevated [CO<sub>2</sub>] and drought on cherry (*Prunus avium*) seedlings I. Growth, whole-plant water use efficiency and water loss. *New Phytologist*, 141(1): 129-140.

16. Centritto, M., Lucas, M.E. and Jarvis, P.G. 2002. Gas exchange, biomass, whole-plant water-use efficiency and water uptake of peach (*Prunus persica*) seedlings in response to elevated carbon dioxide concentration and water availability. *Tree Physiology*, 22: 699-706.
17. Cooper, P.J., Gregory, P.J., Tulley, D. and Harris, H.G. 1987. Improving water use efficiency of annual crops in rainfed farming systems of West Africa and North Africa. *Exp. Agric.*, 213: 113-158.
18. Cui, N., Du, T., Kang, S. and Li, F. 2008. Regulated deficit irrigation improved fruit quality and water use efficiency of pear-jujube trees. *Agricultural Water Management*, 95: 489-497.
19. de Wit, C.T. 1958. Transpiration and crop yields. *Verslag Landbouwkundig, Onderzoek No. 64.6*.
20. Du, S., Kang, S., Li, F. and Du, T. 2017. Water use efficiency is improved by alternate partial root-zone irrigation of apple in arid northwest China. *Agricultural Water Management*, 179: 184-192.
21. Du, T., Kang, S., Zhang, J., Li, F. and Yan, B. 2008. Water use efficiency and fruit quality of table grape under alternate partial root-zone drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 95: 659-668.
22. Ellsworth, D.S., Tyree, M.T., Parker, B.L. and Skinner, M. 1994. Photosynthesis and water-use efficiency of sugar maple (*Acer saccharum*) in relation to pear thrips defoliation. *Tree Physiology*, 14: 619-632.
23. Farkas, Zs., Varga-László, E., Anda, A., Veisz, O. and Varga, B. 2020. Effects of waterlogging, drought and their combination on yield and water-use efficiency of five Hungarian winter wheat varieties. *Water*, 12(5): 1318.
24. Fodor F. 2013. A növények vízháztartása, ásványi táplálkozása, transzportfolyamatok. In: Dr. Bratek Zoltán, Dr. Fodor Ferenc, Dr. Király István, Dr. Nyitrai Péter, Dr. Parádi István, Dr. Rudnóy Szabolcs, Dr. Solti Ádám, Dr. Szigeti Zoltán, Dr. Tamás László: A növényi anyagcsere élettana. ELTE Eötvös Kiadó Kft., Budapest. 321.
25. Glenn, D.M., Scorza, R. and Bassett, C. 2000. Physiological and morphological traits associated with increased water use efficiency in the willow-leaf peach. *HortScience*, 35(7): 1241-1243.
26. Gregory, P.J. 1990. Plant management factors affecting the water use efficiency of dryland crops. In Unger (ed.) *Challenges in dryland agriculture: A global perspective*. Texas A&M Univ., Collage Station, 171-175.
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. *American Journal of Botany*, 82: 1-7.
28. van Herwaarden, A.F., Angus, J.F., Richards, R.A. and Farquhar, G.D. 1998. Haying-off, the negative grain yields response of dryland wheat to nitrogen fertiliser. II. Carbohydrate and protein dynamics. *Australian Journal of Agricultural Research*, 49: 1083-1093.
29. Hillel, D. 1997. *Small-scale irrigation for arid zones: principles and options*. FAO Development Series No. 2, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
30. Hoffman B. 2011. Növénygenetika. Debreceni Egyetem, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Pannon Egyetem
31. Howell, T.A. 2001. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. *Agron. J.* 93: 281-289.
32. Howell, T.A., Cuenca, R.H. and Solomon, K.H. 1990. Crop yield response. In Hoffman et al. (ed.) *Management of farm irrigation system*. Am. Soc. Of Agric. Eng. (ASAE), St. Joseph, MI. 93-122.
33. Impa, S.M., Nadaradjan, S., Boominathan, P., Shashidar, G., Bindumadhava, H. and Sheshshayee, S. 2005. Carbon isotope discrimination accurately reflects variability in WUE measured at a whole plant level in rice. *Crop Science*, 45(6): 2517-2522.
34. Kaya, C., Higgs, D., Kirnak, H. and Tas, I. 2003. Mycorrhizal colonisation improves fruit yield and water use efficiency in watermelon (*Citrullus lanatus* Thunb.) grown under well-watered and water-stressed conditions. *Plant and Soil*, 253: 287-292.
35. Kimball, B.A. 1983. Carbon dioxide and agricultural yield an assemble and analysis of 430 prior observation. *Agronomy Journal*, 75: 779-788.
36. Kirkham, M.B. 2005. *Water-use Efficiency*, Elsevier Ltd. 315-322.
37. Kocacinar, F. and Sage, R.F. 2005. Hydraulic properties of the xylem in plants of different photosynthetic pathways. *Vascular Transport in Plants. Physiological Ecology*, 517-533.
38. Láng L. 2007. Fotoszintézis. In: Láng (szerk.) *Növényélettan – A növényi anyagcsere I- II.*, ELTE Eötvös Kiadó. 1024.
39. Le, A.T., Pék, T., Takács, S., Neményi, A. and Helyes, L. 2018. Effect of plant growth-promoting rhizobacteria on yield, water use efficiency and Brix Degree of processing tomato. *Plant Soil Environ.* 64(11): 523-529.

40. Liu, B., Cheng, L., Ma, F., Zou, Y. and Liang, D. 2012. Growth, biomass allocation, and water use efficiency of 31 apple cultivars grown under two water regimes. *Agroforest Syst.* 84: 117-129.
41. Liu, C. and Allan, R.P. 2013. Observed and simulated precipitation responses in wet and dry regions 1850-2100. *Environ. Res. Lett.* 8(3): 034002.
42. Liu, F., Andersen, M.N., Jacobsen, S.E. and Jensen, C.R. 2005b. Stomatal control and water use efficiency of soybean (*Glycine max.* L. Merr.) during progressive soil drying. *Environmental and Experimental Botany*, 54(1): 33-40.
43. Liu, F., Jensen, C.R., Shahanzari, A., Andersen, M.N. and Jacobsen, S.E. 2005a. ABA regulated stomatal control and photosynthetic water use efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.) during progressive soil drying. *Plant science*, 168(3): 831-836.
44. López-Urrea, R., Montoro, A., López-Fuster, P. and Fereres, E. 2009. Evapotranspiration and responses to irrigation of broccoli. *Agricultural Water Management*, 96(7): 1155-1161.
45. Marosán Á. 2019. Statisztikai Jelentések – Öntözésjelentés 2018. év. NAIK Agrárgazdasági Kutatóintézet XXII. (1): 20.
46. Medrano, H., Tomás, M., Martorell, S., Flexas, J., Hernández, E., Rosselló, J. and Bota, J. 2015. From leaf to whole-plant water use efficiency (WUE) in complex canopies: Limitations of leaf WUE as selectional target. *The Crop Journal*, 3(3): 220-228.
47. Nemeskéri, E., Molnár, K., Pék, Z. and Helyes, L. 2018. Effect of water supply on the water use-related physiological traits and yield of snap beans in dry seasons. *Irrigation Science*, 36(3): 143-158.
48. Nemeskéri, E. and Helyes, L. 2019. Physiological responses of selected vegetable crop species to water stress. *Agronomy*, 9(8): 447.
49. Nemeskéri, E., Neményi, A., Bócs, A., Pék, Z. and Helyes, L. 2019. Physiological factors and their relationship with the productivity of processing tomato under different water supplies. *Water*: 11, 586.
50. Nyitrai, P. és Solti, Á. 2013. Fotoszintézis. In: Dr. Bratek Zoltán, Dr. Fodor Ferenc, Dr. Király István, Dr. Nyitrai Péter, Dr. Parádi István, Dr. Rudnóy Szabolcs, Dr. Solti Ádám, Dr. Szigeti Zoltán, Dr. Tamás László. A növényi anyagcsere élettana. ELTE Eötvös Kiadó Kft., Budapest. 321.
51. O'Shaughnessy, S.A., Evett, S., Andrade, M.A., Workneh, F., Price, J.A. and Rush, C.M. 2016. Site-specific variable-rate irrigation as a means to enhance water use efficiency. *Transaction of the ASABE*, 59(1): 239-249.
52. Passioura, J.B. 2002. Environmental biology and crop improvement. *Functional Plant Biology*, 29: 537-546.
53. Polley, W.H. 2002. Implications of atmospheric and climatic change for crop yield and water use efficiency. *Crop Science*, 42: 131-140.
54. Roupael, Y., Cardarelli, M., Colla, G. and Rea, E. 2008. Yield, mineral composition, water relations, and water use efficiency of grafted mini-watermelon plants under deficit irrigation. *American Society for Horticultural Science*, 43(3): 730-736.
55. Shahnazari, A., Liu, F., Andersen, M.N., Jacobsen, S.E. and Jensen, C.R. 2007. Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions. *Field Crops Research*, 100(1): 117-124.
56. Siddique, K.H.M., Regan, K.L., Tennant, D. and Thomson, B.D. 2001. Water use and water use efficiency of cool season grain legumes in low rainfall Mediterranean-type environments. *European Journal of Agronomy*, 15(4): 267-280.
57. Tambussi, E.A., Bort, J., Guiamet, J.J., Nogués, S. and Araus, J.L. 2007. The photosynthetic role of ears in C<sub>3</sub> cereals: metabolism, water use efficiency and contribution to grain yield. *Critical Reviews in Plant Science*, 26: 1-16.
58. Tambussi, E.A., Nogués, S., Ferrio, P., Voltas, J. and Araus, J.L. 2004. Does a higher yield potential improve barley performance under Mediterranean conditions? A case study. *Field Crops Research*, 91: 149-160.
59. Viets, F.G.JR. 1962. Fertilizers and efficient use of water. *Adv. Agron.* 14: 223-264.
60. Wibble, M.L.L and Blanke, M.M. 1995. Effects of defruiting on source-sink relationship, carbon budget, leaf carbohydrate content and water use efficiency of apple trees. *Physiologia Plantarum*, 94(3): 529-533.

61. Wollenweber, B., Porter, J.R. and Schellber, J. 2003. Lack of interaction between extreme high-temperature events at vegetative and reproductive growth stages in wheat. *J. Agron. Crop Sci.* 189(3): 142-150.
62. Yaghi, T., Arslan, A. and Naoum, F. 2013. Cucumber (*Cucumis sativus* L.) water use efficiency (WUE) under plastic mulch and drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 128: 149-157.
63. Yang, Q., Zhang, F., Li, F. and Liu, X. 2013. Hydraulic conductivity and water-use efficiency of young pear tree under alternate drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 119: 80-88.
64. Zahir, Z.A., Munir, A., Asghar, H.N., Shaharoon, B. and Asrhad, M. 2008. Effectiveness of Rhizobacteria containing ACC deaminase for growth promotion of peas (*Pisum sativum*) under drought conditions. *J. Microbiol. Biotechnol.* 18(5): 958-963.

Internetes forrás

<https://www.worldometers.info/hu/>

## Calculation methods and determining factors of water-use efficiency

FARKAS ZS.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Agricultural Institute, Centre for Agricultural Research, Martonvásár, Hungary

<sup>2</sup> Fesztetics Doctoral School, Georgikon Faculty, University of Pannonia, Keszthely, Hungary

E-mail: farkas.zsuzsanna@agrar.mta.hu

### Summary

In the near future, agriculture and horticulture will face various challenges. The growing population of the Earth and the descending freshwater reserves will endanger the fulfilment of the food requirements. Due to the climate change, the extreme weather events are already being experienced more frequently and the patterns of precipitation will change as well (Wollenweber et al. 2003; Liu and Allan 2013). One of the solutions of the future food production problem can be the breeding of plants with better water-use efficiency (WUE). There are numerous different methods of calculating the WUE. The water-use efficiency can be determined on different levels of the plants; on the level of the leaves (the photosynthetic rate divided by the transpiration rate), the level of the whole plant (the amount of dry weight divided by the amount of applied water) and the level of the whole yield (amount of yield divided by the transpiration per area). Different authors interpret this concept in different ways, so we must choose the best types of plants and growing methods. Water-use efficiency can be influenced by several biological and environmental factors. For example, the type of photosynthesis, the variety and population can be a biological factor. The environmental factors are for example the photosynthetic rate (C3, C4, CAM), species, the plant population/cultivar/clone, the characteristics of the location, the soil and microclimate, the soil management (mulching, tillage, fertilisation) and the crop management (training system, pruning, irrigation) (Medrano et al. 2015). The Regulated Deficit Irrigation (RDI) and

Partial Root-zone Drying Irrigation (PRD) can improve the WUE (Bogale et al. 2016; O'Shaughnessy et al. 2016). Moreover, the plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) as biofertilizer have positive effects on the plants' water-use efficiency as well.

The work is supported by the EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 project. The project is co-financed by the European Union and the European Social Fund.

**Szerző**

Farkas Zsuzsanna – tudományos segédmunkatárs, ATK Mezőgazdasági Intézet, 2462 Martonvásár, Brunsvik u. 2.