

Biotrágyák hatása ipari paradicsom bioaktív anyagaira eltérő vízellátásban

LE ANH TUAN¹, ANDRYEI BULGAN², ÉGEI MÁRTON², TAKÁCS SÁNDOR²

¹Vietnam Institute of Agricultural Engineering and Postharvest Technology (VIAEP), Vietnam

²Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Kertészettudományi Intézet, Gödöllő

E-mail: Takacs.Sandor@uni-mate.hu

Összefoglalás

A biotrágyák segítik a növények fejlődését, javítják a víz- és tápanyagfelvételt vízhiányos körülmények között. A kutatás célja különböző rhizobaktérium összetételű biotrágyák hatásának vizsgálata ipari paradicsom hibridek termésének likopin, β -karotin és lutein tartalmára aszályos és csapadékos évben, eltérő vízellátás alatt. Az Uno Rosso paradicsom hibrid palántáit kiültetés előtt Phylazonit (PH+), és utána (PH++) biotrágyával, a H-1015 hibridet kiültetés előtt rhizobaktérium törzseket tartalmazó B2 és B3 készítményekkel kezeltük. A kiültetést követően a növények rendszeres öntözésben (I100), deficit vízellátásban (I50) részesültek és az öntözés nélküli (I0) parcellák képviselték a kontrollt. Az aszályos és csapadékos évben, deficit öntözés alatt a PH++ kezelés jelentősen növelte a piacképes termést, de előbbiben nőtt a zöld, éretlen termés mennyisége. Deficit öntözés alatt, PH++ hatására jelentősen nőtt az Uno Rosso fajta termésének likopin tartalma, de nagy β -karotin tartalom csak aszályos évben mutatható ki. Az aszályos évben, deficit öntözés alatt, B2 kezelés hatására nőtt a H-1015 fajta termésének likopin, β -karotin és lutein tartalma, rendszeres öntözés mellett a B3 kezelés növelte a likopin és lutein tartalmat. Mérsékelt vízhiányban (aszályos év+deficit öntözés) a Phylazonit és a hasonló baktérium összetételű B2 készítmény alkalmas a likopin és β -karotin tartalom növelésére mindkét fajtánál, de csapadékos évben hatásuk vízellátástól függően változott. A B2 és B3 baktérium készítmények jó vízellátás alatt biztosították a magasabb lutein tartalmat.

Kulcsszavak: biotrágya, karotinoidek, öntözés, paradicsom, rhizobaktériumok

Bevezetés és irodalmi áttekintés

A szabadföldön termesztett kertészeti növények termőképességét az időszakos vízhiány csökkenti, de kedvező hatással van a termés élelmi minőségére. A talaj magas hőmérséklete, alacsony nedvességtartalma a csíranövények fejlődését (Nemeskéri 2004; Rezayian et al. 2018), valamint a különböző fejlődési szakaszokban fellépő vízhiány a termés mennyiségét és minőségét egyaránt befolyásolja (Nemeskéri et al. 2018; Takács et al. 2020). A termesztők és élelmiszer feldolgozók közös célja, megtalálni a vízellátás, a termés mennyisége és minősége között a megfelelő egyensúlyt. Az egészséges táplálkozásban kiemelt szerepet kapnak a zöldség és gyümölcsök termésében előforduló bioaktív anyagok. A karotinok más bioaktív anyagokkal együtt növelve a szervezet gyulladáscsökkentő és antioxidáns aktivitását, csökkentik a krónikus betegségek, a rák és az időskori szembetegségek előfordulását (Sharoni et al. 2012; Meyers et al. 2014). A β -karotin az A-vitamin provitaminja, az antioxidáns hatású likopin csökkenti a szív- és érrendszeri betegségek kockázatát és védi a sejteket a káros oxigén fajtáktól (ROS) (Sathasivam és Ki 2018). A vörös és sárga élelmiszerekben és gyümölcsökben lévő lutein és zeaxanthin felhalmozódik a szem retinájában és védelmet biztosít a szembetegségek ellen (Granado et al. 2003; Esteves-Santiago et al. 2016). A sárgaborsó nagyobb mennyiségben tartalmaz xantofillt, mint β -karotint (Nemeskéri 2006), a csemegekukorica mély sárga színéért a zeaxanthin, β -karotin együtt felelős (O'Hare et al. 2015), valamint a piros paradicsom és paradicsom termékek likopinban gazdagok (Khalid et al. 2019). Paradicsomban az összes karotin tartalomban jelentős a likopin aránya, ezt követi a β -karotin és kismértékű a lutein előfordulása (Andryei 2021).

A karotinoidok felhalmozódása a termésben évről-évre függ; csapadékos évben xantofillok szintézise fokozódik, de aszályos évben, a magas hőmérséklet a β -karotin felhalmozódásnak kedvez (Nemeskéri 2006). Évtől és vízellátástól függően az összes karotin tartalom 0,26-0,32 mg/kg között változott csemegekukorica termésében (Nemeskéri et al. 2019), enyhén csapadékos évben az öntözés növelte a cseresznye paradicsom β -karotin és zeaxanthin tartalmát, de csökkentette az oldható szárazanyag- (Brix) és likopin tartalmát (Deák és Égei 2020). Helyes et al. (2012) kimutatták, hogy rendszeresen öntözött paradicsom likopin tartalma alacsonyabb, mint öntözés nélkül, de bogyóérés alatt az alacsony hőmérséklet aktiválja a likopin szintézisét. Az öntözővíz mennyiségének is meghatározó szerepe van; korlátozott és jó vízellátásban eltérő mértékben csökkent a paradicsom bogyók likopin tartalma az öntözetlen növényekéhez képest (Takács et al. 2020), azonban likopin hozamban nem volt jelentős különbség a deficit öntözés és rendszeres öntözési kezelések között (Le et al. 2018a).

A paradicsom bogyókötés és intenzív bogyófejlődés alatt érzékeny a vízhiányra, és ha nő a vízhiány, akár 25-50%-kal is csökkenhet a termés (Helyes és Varga 1994). A termésveszteség mérséklését öntözéssel, vagy különböző biotrágyák alkalmazásával lehet elérni. A kutatások kimutatták, hogy a talajban a rhizoszférában élő egyes mikroorganizmusok segítik a növények víz és tápanyag felvételét korlátozott vízellátásban, ezáltal javul a vízfelhasználásuk, nő a termés és javul a termés minősége (Nadeem et al. 2014; Le et al. 2018b; Horváth et al. 2020). A növényi növekedést serkentő baktériumok (PGPR) hatását elsősorban a termésre vizsgálták eltérő vízellátásban, de kevés adat áll rendelkezésre a termés bioaktív anyagainak, élelmi minőségére kifejtett hatásokról (Bakr et al. 2017; Duc et al. 2017).

A kutatás célja a különböző PGPR baktérium törzseket tartalmazó biotrágyák hatását elemezni a termés bioaktív anyagaira eltérő vízellátásban.

Anyag és módszer

A szabadföldi kísérletek 2015-2020 között a Magyar Agrár-és Élettudományi Egyetem Kertészettudományi Intézetének kísérleti telepén, Gödöllőn került kivitelezésre. 2015-2016-ban, az Uno Rosso F₁ (United Genetics Seeds Co. CA, USA), középérésű (124 nap) ipari paradicsom hibridet vizsgáltuk. A Phylazonit (Phylazonit Kft., Nyíregyháza) különböző baktérium törzseket (*Pseudomonas putida*, *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus circulans*, *Bacillus megaterium*) tartalmazott. Első alkalommal az oltás Phylazonit 1%-os oldatával magvetéskor (PH+) történt, majd a négyhetes kezelt palánták és kezeletlen növények (PH0) kiültetése a kísérleti területre közel azonos időben, május 11 és 15-én történt, véletlen blokk elrendezésben, négy ismétlésben. A kiültetéskor a PH+ növények felét ismételten oltottuk (PH++) Le és munkatársai (2018b) által leírtak szerint.

2018-2020-ban a szabadföldi kísérletekben a H-1015 F₁ (H. J. Heinz Company, Pittsburgh, USA), korai érésű (114 nap) ipari paradicsom hibridet vizsgáltuk. Rhizobaktériumokat tartalmazó biotrágyákkal, a négy hetes palántákat kiültetés előtt kezeltük az Andryei és munkatársai (2021) által leírtak szerint és a kezeletlen növények (B0) képezték a kontrollt. A **B2** különböző baktérium törzseket tartalmazó készítményt (*Alcaligenes sp. 3573*, *Bacillus sp. BAR16*, és *Bacillus sp. PAR11*) és **B3** készítményt (*Pseudomonas sp. MUS04*, *Rhodococcus sp. BAR03*, és *Variovorax sp. BAR04*) a Bay Zoltán Kutató Intézet bocsátotta rendelkezésünkre (BAY-BIO, Szeged). A kezelt és kezeletlen palánták kiültetése május 14 és 17-én, véletlen blokk elrendezésben, négy ismétlésben történt.

Mindegyik évben három öntözési kezelést alkalmaztunk: rendszeres öntözést (I100), ahol a teljes evapotranszpiráció (ET_c100%) mennyiségének visszapótlására került sor, deficit öntözést (I50), ahol az ET_c 50%-a került visszapótlásra, ami mérsékelt vízhiánynak felelt meg, valamint az I0 kezelésnél nem történt meg az ET_c visszapótlása (1. táblázat). Az elpárologtatott vízmennyiség pótlására az öntözővíz mennyiségét CROPWAT 8.0 szoftver (FAO Rome Italy) segítségével határoztuk meg (Pék et al. 2017), melynek kijuttatása csepegtető öntözési rendszerrel történt.

A betakarított termést morfológiailag osztályoztuk; a piros érett termés képezte a piacképes termés csoportját, a következő csoportba az éretlen zöld egészséges termést soroltuk, és végül a beteg, sérült bogyók képezték a harmadik csoportot. A betakarított érett termésből vett minta karotinoid tartalmának meghatározását Daood et al. (2014) által leírtak szerint nagy teljesítményű folyadék kromatográf (HPLC) segítségével határoztuk meg. A homogenizált termésből a lipopin tartalom kivonása n-hexán:metanol:aceton (2:1:1) elegyével történt, majd spektrofotométeren, 500 nm-en mérve, mennyiségét µg/g (friss) tömegről vonatkoztatva adtuk meg (Helyes et al. 2012).

Az adatok értékelése SPSS for Windows 20.0 szoftver felhasználásával történt. A biotrágyák, és öntözés hatásának értékelése a termésre és bioaktív anyagok mennyiségére kéttényezős varianciaanalízissel (ANOVA) történt, az ismétlések átlaga között a különbség kimutatására Tukey tesztet használtunk P<0,05 szinten.

Eredmények

Csapadékviszonyok alapján, 2015 nagyon száraz, 2018 mérsékeltlen száraz, és a 2016 és 2020 csapadékos évnek mondható (1. táblázat). A bogyófejlődés és érés alatt a 2015 száraz meleg, a 2016 hűvösebb csapadékosabb volt (Le et al. 2018a). Virágzás előtt jelentős csapadék hullott, de

a termés érése alatt száraz meleg volt 2018-ban, és hűvös csapadékos volt 2020-ban (Andryei et al. 2021), ami befolyásolta a bioaktív anyagok felhalmozódását az érett bogyókban.

1. táblázat. Meteorológiai és öntözési adatok a paradicsom fejlődése alatt

Évek (1)	Hőmérséklet átlagok °C (2)		Csapadék mm (3)	Öntözés mm (4)		Összes víz (csapadék+öntözés) mm (5)		
	Tmax	Tmin		I0	I50	I100	I0	I50
2015	25,7	14,1	101,1	140,6	262,5	101,1	241,7	363,6
2016	24,7	13,5	359,4	112,6	211,5	359,4	472,0	570,9
2018	27,5	15,7	304,6	80,2	160,3	304,6	384,8	464,9
2020	25,7	14,5	375,1	54,8	102,7	375,1	429,9	477,8

Table 1. Meteorological data and irrigation during the growing of tomatoes (1) years, (2) temperature, (3) precipitations, (4) irrigation, (5) total water (precipitation + irrigated water)

Phylazonit hatása a termésre, bioaktív anyagokra

Az öntözött növények (I50, I100) jelentősen nagyobb piacképes termést produkáltak, de korlátozott vízellátásban (I0, I50) a zöld, éretlen termés mennyisége, különösen aszályos évben, nagyobb volt, mint csapadékos évben (2. táblázat). A kétszeres oltás (PH++) hatékonyabbnak bizonyult a termés növelésére, mint a csak vetéskor alkalmazott oltás (PH+). Mindkét évben deficit öntözés mellett PH++ kezelés jelentősen növelte a paradicsom piacképes termését, azonban 2015-ben jelentősen nőtt az egészséges zöld bogyók mennyisége, hűvös csapadékos évben csökkent (2. táblázat).

2. táblázat. Phylazonit hatása Uno Rosso F₁ paradicsom termésére aszályos (2015) és csapadékos (2016) évben

Öntözés (1)	Kezelés (2)	2015				2016			
		Termés (3) t/ha	PT* (4) t/ha	ZT (5) t/ha	BT (6) t/ha	Termés (3) t/ha	PT (4) t/ha	ZT (5) t/ha	BT (6) t/ha
I0	PH0	19,83 d	14,69 d	4,06 b	1,08 c	111,08 c	61,22 c	9,41 b	40,45 a
	PH+	20,96 d	14,91 d	4,83 b	1,22 c	113,00 c	62,79 c	18,63 a	31,58 b
	PH++	21,38 d	13,62 d	6,27 b	1,46 c	117,39 c	67,81 c	15,31 a	34,27 b
		20,72 C	14,40 C	5,06 A	1,26 C	113,82C	63,94 B	14,45 A	35,43 A
I50	PH0	68,12 c	56,45 c	3,73 c	7,94 b	120,75 c	67,61 c	12,97 b	40,17 a
	PH+	66,86 c	51,30 c	8,32 a	7,23 b	139,58 b	88,25 b	9,47 b	41,86 a
	PH++	88,48 b	71,86 b	8,56 a	8,07 b	160,78 a	107,50 a	7,96 c	45,33 a
		74,48 B	59,87 B	6,87 A	7,75 B	140,37 A	87,79 A	10,13 A	42,45 A
I100	PH0	87,01 b	68,41 b	2,89 c	15,71 a	125,39 b	79,39 b	6,83 d	39,17 a
	PH+	87,11 b	66,55 b	3,41 c	17,16 a	133,58 b	80,86 b	10,28 b	42,44 a
	PH++	113,32 a	93,76 a	3,90 c	15,65 a	132,21 b	86,29 b	8,14 c	37,78 b
		95,81 A	76,24 A	3,40 B	16,17 A	130,39 B	82,18 A	8,42 B	39,79 A
	PH	***	***	*	ns	***	**	ns	ns
	I	***	***	***	***	***	***	**	ns
	I x PH	***	***	ns	ns	**	*	ns	ns

* P ≤ 0.05, ** P ≤ 0.01, *** P ≤ 0.001, ns=nem szignifikáns

Az átlagot követő azonos betűk nem szignifikáns különbséget jelölnek P<0.05 szinten, Tukey teszt szerint. A nagy betűk a vízellátás, a kis betűk a kezelések közötti különbséget jelölik. (1) öntözés: I0 öntözés nélkül, I50 deficit öntözés, I100 rendszeres öntözés, (2) Phylazonit kezelés: PH+ egyszeres oltás, PH++ kétszer oltás, PH0 kontrol,(3) összes termés, (4) PT piacképes termés, (5) ZT zöld termés, (6) BT beteg termés

Table 2. Effect of Phylazonit on yield of Uno Rosso F₁ tomato in drought (2015) and wet (2016) years

* P ≤ 0.05, ** P ≤ 0.01, *** P ≤ 0.001, ns = non-significant

The same letters following the average indicate significant difference at P<0.05 using Tukey's test. Capital letters indicate the difference between irrigation, small letters indicate the difference between the treatments ns= non significance (1) irrigation: I0 without irrigation, I50 deficit irrigation, I100 regular irrigation, (2) Phylazonit treatments: PH+ once inoculation, PH++ twice inoculation, PH0 control, (3) total yield, (4) PT marketable yield, (5) ZT green yield, (6) BT diseased yield

A továbbiakban azt vizsgáltuk, hogy a PH++ kezelés milyen mértékben befolyásolja a termés bioaktív anyagainak mennyiségét. Hűvös csapadékos 2016-os évben a bogyók összes karotin, likopin és β-karotin tartalma jelentősen nagyobb volt, mint az aszályos évben. Az aszályos 2015-os évben, öntözés hatására az összes karotin- és likopin tartalom 30-34%-kal csökkent a nem öntözött terméshez képest (3. táblázat).

Mérsékelt vízhiányban (deficit öntözés) a kétszeres Phylazonit (PH++) kezelés jelentősen növelte az Uno Rosso paradicsom likopin tartalmát a kezeletlen kontrollhoz képest. Ilyen körülmények alatt a PH++ kezelésnek pozitív hatása a termés β -karotin tartalmára csak aszályos (2015) évben mutatható ki (3. táblázat).

3. táblázat. Phylazonit hatása Uno Rosso F₁ paradicsom karotin tartalmára eltérő vízellátás alatt aszályos (2015) és csapadékos (2016) évben

Öntözés (1)	Kezelés (2)	Összes karotin ($\mu\text{g/g}$) (3)		Likopin ($\mu\text{g/g}$) (4)		β -karotin ($\mu\text{g/g}$) (5)	
		2015	2016	2015	2016	2015	2016
I0	PH0	136,3 ^{Bb} \pm 1,0	321,7 ^{Ab} \pm 9,4	100,6 ^{Bb} \pm 1,0	204,8 ^{Ab} \pm 4,8	2,63 ^{Aa} \pm 0,1	13,84 ^{Bb} \pm 1,0
	PH++	162,0 ^{Aa} \pm 4,5	304,3 ^{Ab} \pm 19,4	45,4 ^{Aa} \pm 3,9	218,0 ^{Aa} \pm 11,4	1,51 ^{Aa} \pm 0,1	10,43 ^{Aa} \pm 1,6
I50	PH0	106,3 ^{Aa} \pm 3,8	128,6 ^{Aa} \pm 20,0	72,0 ^{Aa} \pm 2,9	233,3 ^{Ab} \pm 12,8	2,23 ^{Aa} \pm 0,2	10,58 ^{Aa} \pm 1,4
	PH++	167,2 ^{Bb} \pm 12,4	160,0 ^{Aa} \pm 16,0	126,2 ^{Bb} \pm 9,7	270,0 ^{Bb} \pm 13,8	4,36 ^{Ba} \pm 0,7	9,59 ^{Aa} \pm 1,6
I100	PH0	94,3 ^{Aa} \pm 9,1	195,8 ^{Aa} \pm 11,3	66,1 ^{Aa} \pm 3,5	95,1 ^{Aa} \pm 9,3	2,41 ^{Aa} \pm 0,2	5,80 ^{Aa} \pm 0,8
	PH++	76,7 ^{Aa} \pm 4,0	302,4 ^{Bb} \pm 6,5	50,4 ^{Aa} \pm 2,6	202,8 ^{Ab} \pm 31,4	2,42 ^{Aa} \pm 0,1	15,74 ^{Bb} \pm 1,58
PH++		***	**	*	***	**	*
I		***	**	***	ns	ns	ns
PH++xI		*	***	***	*	***	**

* $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$, *** $P \leq 0.001$, ns=nem szignifikáns

Az átlagot követő azonos betűk nem szignifikáns különbséget jelölik $P \leq 0.05$ szinten, Tukey teszt szerint. A nagy betűk a kezelések, a kis betűk az vízellátás közötti különbséget jelölik. (1) öntözés: I0 öntözés nélkül, I50 deficit öntözés, I100 rendszeres öntözés, (2) Phylazonit kezelés: PH+ egyszeres oltás, PH++ kétszer oltás, PH0 kontrol, (3) összes karotin, (4) likopin, (5) β -karotin

Table 3. Effect of Phylazonit on carotenoids of Uno Rosso F₁ tomatoes under different water supply in drought (2015) and wet (2016) years

* $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$, *** $P \leq 0.001$, ns = non-significant

The same letter following the average indicate a significant difference at $P \leq 0.05$ using Tukey's test. Capital letters indicate the difference between treatments, small letters indicate the difference between the water supply (1) Irrigation: I0 without irrigation, I50 deficit irrigation, I100 regular irrigation, (2) treatments: PH0 without inoculation, PH++ double inoculation with Phylazonit; (3) total carotenoids, (4) lycopene, (5) β -carotene

PGPR hatása a bioaktív anyagokra

A vízhiány mértékétől függően, az eltérő növényi növekedést serkentő rhizobaktérium (PGPR) összetételű készítmények hatása különböző mértékben érvényesült a H-1015 paradicsom hibrid termésére. Andryei és munkatársai (2021) kimutatták, hogy mérsékelt vízhiányban (aszályos év+deficit öntözés) a B3 kezelés 26%-kal több érett, piacképes termést, és 49%-kal kevesebb éretlen zöld termést eredményezett, mint a B2 kezelés. Csapadékos évben (2020) az öntözött (I50, I100)

növényeknél a B2 kezelés kedvezőbb volt a piacképes termésre (22-23%-kal nőtt), de nagyobb arányú beteg termést produkáltak, mint a B3 készítménnyel kezelt növények.

Öntözés hatására a paradicsomtermésben a likopin és β -karotin tartalom csökkent aszályos (2018) évben, de csapadékos évben a β -karotin tartalom az öntözővíz mennyiségétől függően változott (1. és 2. ábra). A likopin tartalom deficit öntözés alatt aszályos évben a 22%-kal, csapadékos (2020) évben 33%-kal csökkent, míg rendszeres öntözéssel a csökkenés mértéke 37% illetve 40% volt. A PGPR-t tartalmazó kezelések hatása a likopin tartalomra aszályos évben, öntözés nélkül nem érvényesült, korlátozott vízellátásban (I50) a B2 kezelés, rendszeres öntözésnél (I100) a B3 kezelés bizonyult hatékonyak (1. ábra). Csapadékos évben (2020) öntözés nélkül mindkét kezelés hatására jelentősen csökkent a likopin tartalom, a rendszeresen öntözött (I100) növényeknél a B3 kezelésnek volt pozitív hatása.

1. ábra. Baktériumkezelések (PGPR) hatása H 1015 F1 paradicsom termés likopin tartalmára eltérő vízellátásban aszályos (2018) és csapadékos (2020) évben. Az eltérő betűk szignifikáns különbséget jelzik $P \leq 0,05$ szinten. (1) likopin tartalom, (2) öntözés, (3) baktériumkezelés: B0 kezeletlen kontrol

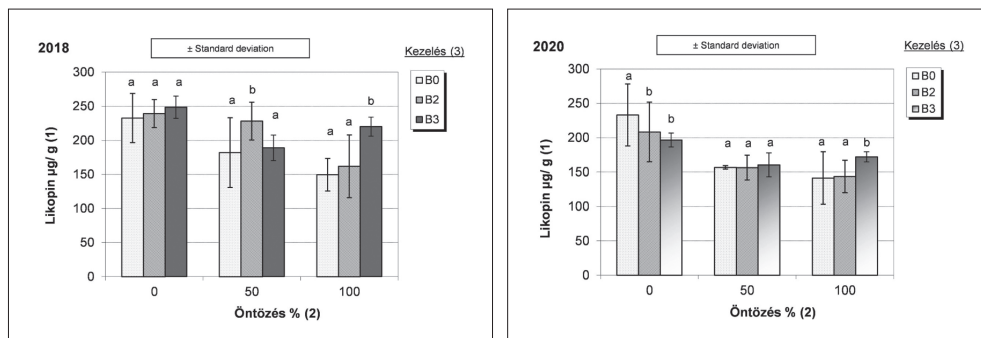


Figure 1. Effect of bacterial treatments (PGPR) on lycopene content of yield of H-1015 F1 tomato grown under different water supply in drought (2018) and wet (2020) years.

Different letters indicate a significant difference at $P \leq 0.05$ level. (1) lycopene content, (2) irrigation, (3) bacteria treatments: B0 non-inoculated control

A termés β -karotin tartalma alacsonyabb volt aszályos évben, mint csapadékos évben, és öntözés mértékétől, valamint a PGPR kezelésektől függően változott (2. ábra). Aszályos évben, a baktériumkezelések eltérő mértékben fejtik ki hatásukat; öntözés nélküli növényeknél a B3 kezelés, deficit öntözés (I50) mellett a B2 kezelés és rendszeres öntözés mellett mindkét kezelés (B2, B3) jelentősen növelte a termés β -karotin tartalmát. Ettől eltérően csapadékos évben, a nem öntözött növényeknél mindkét kezelés hatására jelentősen csökkent a termés β -karotin tartalma, azonban deficit öntözés mellett jelentősen nagyobb (6,4-6,5 $\mu\text{g/g}$) volt a kezeletlen kontrollhoz (5,4 $\mu\text{g/g}$) képest. Jó vízellátásban (I100) a B3 készítmény hatására a termésben jelentősen nagyobb a β -karotin tartalom (8 $\mu\text{g/g}$), szemben a kontroll (B0) és B2 kezelt növényekkel, ahol ez 6,72 és 6,45 $\mu\text{g/g}$ volt.

2. ábra. Baktériumkezelések (PGPR) hatása H 1015 F₁ paradicsom termésében a β -karotin tartalomra eltérő vízellátásban aszályos (2018) és csapadékosabb (2020) évben. Az eltérő betűk szignifikáns különbséget jelzik $P \leq 0,05$ szinten. (1) β -karotin tartalom, (2) öntözés. (3) baktériumkezelés: B0 nem kezelt kontrol

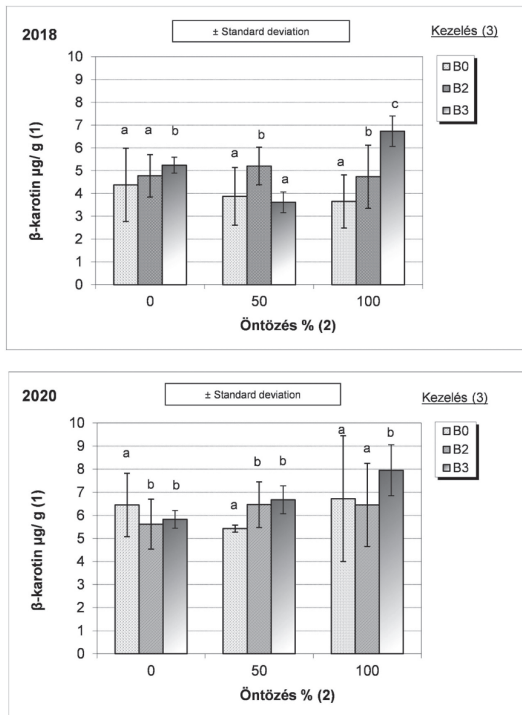


Figure 2. Effect of bacterial treatments (PGPR) on β -carotene content of yield of H-1015 F₁ tomato grown under different water supply in drought (2018) and wet (2020) years.

Different letters indicate a significant difference at $P \leq 0.05$ level.

(1) β -carotene content, (2) irrigation, (3) bacteria treatments: B0 non-inoculated control

Öntözés nélkül termesztett H-1015 F₁ termésében 0,84-1,33 $\mu\text{g/g}$ koncentrációban fordult elő a lutein. Öntözés hatására jelentősen (34-39%) csökkent a termés lutein tartalma aszályos évben, de 23%-kal nőtt csapadékos évben. Aszályos (2018) évben, függetlenül a vízellátástól mindkét (B2, B3) kezelés hatására jelentősen nőtt a termés lutein tartalma, azonban csapadékos évben pozitív hatásuk csak az öntözés nélkül és jó vízellátásban termesztett növényeknél érvényesült (3. ábra). Az eredmények szerint, a B3 kezelésnek nagyobb hatása van a H-1015 hibrid termésének lutein tartalmára, mint a B2 kezelésnek. Az öntözés nélkül termesztett, B3 kezelésben részesült növények termésében 17-19%-kal nagyobb a lutein tartalom, mint a B2 készítménnyel kezelt növényeknél, míg jó vízellátásban, az évek csapadék viszonyaitól függően, B3 kezeléssel 45%-kal, illetve 7%-kal

nagyobb lutein tartalom érhető el (3. ábra).

3. ábra. Baktériumkezelések (PGPR) hatása H 1015 F1 paradicsom termés lutein tartalmára eltérő vízellátásban aszályos (2018) és csapadékosabb (2020) évben.

Az eltérő betűk szignifikáns különbséget jelzik $P \leq 0,05$ szinten. (1) lutein tartalom, (2) öntözés, (3) baktériumkezelés: B0 nem kezelt kontrol

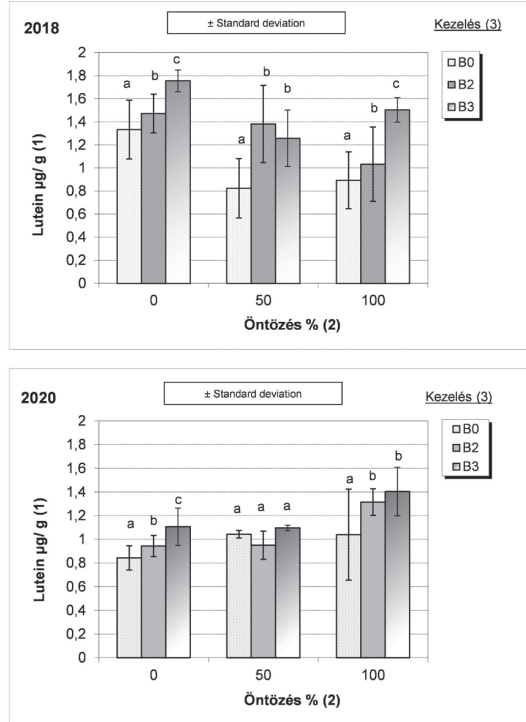


Figure 3. Effect of bacterial treatments (PGPR) on lutein content of yield of H-1015 F1 tomato grown under different water supply in drought (2018) and wet (2020) years.

Different letters indicate a significant difference at $P \leq 0.05$ level.

(1) lutein content, (2) irrigation, (3) bacteria treatments: B0 non-inoculated control

Megvitatás

A paradicsomtermésben a fontosabb karotinoidok szintézisét a vízellátás, a hőmérsékleti viszonyok egyaránt befolyásolják (Helyes et al. 2012). Ezt megerősítették, miszerint hűvös csapadékos évben a bogvók összes karotin, likopin és β -karotin tartalma jelentősen nagyobb volt, mint száraz évben. Mások (Favati et al. 2009; Kumar et al. 2015) szerint deficit öntözés alatt, a paradicsom bogvóban a likopin és β -karotin tartalom emelkedett. Ettől eltérően megállapítottuk, hogy a likopin és β -karotin tartalom csökkent a deficit öntözés alatt, és a csökkenés mértéke fajtától, évjárártól függően változott.

A különböző mikroorganizmusokat tartalmazó biotrágyákat talajjavításra, hozamnövelésre alkalmazzák. A mikroorganizmusok közül az arbuskuláris mikorrhiza (AM) és rhizobaktérium (PGPR) fajok közül többnyire *Bacillus* és *Pseudomonas* törzsek használata terjedt el (Vejan et al. 2016). Pozitív hatásuk a növények fejlődésére, vízhasznosítására, termésére elsősorban vízhiányos környezetben mutatható ki (Le et al. 2018b, Mondani et al. 2019), azonban a mikroorganizmusok hatása a növények élettani folyamataira a környezeti tényezőktől függően eltérő mértékben érvényesül. Aszályos évben, öntözés nélkül a mikorrhiza kezelés és a likopin, lutein és β -karotin tartalom között pozitív ($r=0,783$, $r=0,744$, $r=0,741$) kapcsolatot, míg deficit öntözés alatt gyenge és negatív kapcsolatot mutattak ki (Horváth et al. 2020).

A biotrágyákat alkotó PGPR baktérium törzsek közvetett módon befolyásolják a termés mennyiségét és minőségét. Andryei et al. (2021) kimutatták, hogy aszályos évben, a B3 készítménnyel kezelt H-1015 F₁ paradicsom élettani és érési folyamatai felgyorsultak, ami intenzív szárazanyag- és C-vitamin felhalmozódásban nyilvánult meg, míg az eltérő PGPR összetételű B2 készítmény elhúzódozó fotoszintézist okozott, ami a termés érési folyamatait lassította. Úgy tűnik, a bioaktív anyagok szintézisét és akkumulációját a termésben az alkalmazott biotrágya típusa (összetétele), az évek és az öntözővíz mennyisége befolyásolja. Ordookhani és munkatársai (2010) megállapították, ha a *Pseudomonas putida*, *Azotobacter chroococcum* és *Azospirillum lipoferum* törzsekkel külön oltották a paradicsom növényeket, alacsonyabb volt a termés likopin tartalma, mint amikor két baktérium törzset együtt alkalmaztak, és a legmagasabb likopin tartalmat az *Azotobacter* + *Azospirillum* együttes oltásával érték el. Azonban a biotrágyák hatékonyságát nemcsak az alkotó baktériumok közötti kölcsönhatás, de a vízellátás is befolyásolja. Mérsékelt vízhiányban (aszályos év+deficit öntözés) a két alkalommal kijuttatott Phylazonit (PH++), jelentősen növelte a paradicsom termés likopin és β -karotin tartalmát. Hasonló eredményre jutottunk a B2 készítmény egyszeri alkalmazásával. Csapadékos évben, deficit öntözés alatt, a két biotrágya hatása különbözött; Phylazonittal (PH++) kezelt növényeknél nőtt a termés likopin tartalma, azonban a B2 készítmény hatása a likopin tartalomra nem érvényesült, de nőtt a termés β -karotin tartalma. Magasabb β -karotin tartalom rendszeres öntözés mellett a PH++ kezelt növények termésében mutatható ki, míg mennyisége a B2-vel kezelt növényeknél a kezeletlen kontroll szintjén maradt. Mivel a két biotrágya rhizobaktérium összetétele hasonló, az eltérő hatás valószínűleg a különböző fajták használatával magyarázható.

A xantofillok csoportjába tartozó lutein, nagy mennyiségben fordul elő zöldborsóban, brokkoliban (Eisenhauer et al. 2017) és jelentősen kisebb mennyiségben a paradicsom termésében (Andryei 2021). Az eredmények azt mutatták, hogy biotrágyák alkalmazásával növelhető a paradicsom lutein tartalma. Aszályos évben, vízellátástól függetlenül, a B2 és B3 kezelés hatására, a H-1015 hibrid termésében magas a lutein tartalom, azonban csapadékos évben mindkét készítmény nagyobb lutein tartalmat jó vízellátás alatt biztosított.

Összességében megállapítható, hogy mérsékelt vízhiányban (aszályos év+deficit öntözés) a kétszeresen kijuttatott Phylazonit és a hasonló összetételű egyszeresen alkalmazott B2 biotrágya jelentősen növelték mindkét paradicsomfajta termésében a likopin és β -karotin tartalmat, de hatásuk csapadékos évben vízellátástól függően, eltérő módon érvényesült. A B2 és B3 biotrágya kedvező hatása a H1015 hibrid termésének lutein tartalmára elsősorban aszályos évben érvényesült. A B3 kezelés alkalmazása a bogyókban a legnagyobb bioaktív anyag akkumulációt rendszeres öntözés alatt biztosította.

Irodalomjegyzék

1. Andryei B. 2021. Effect of water supply on phytochemicals of processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). PhD Dissertation, 95 pp. Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Gödöllő, Hungary
2. Andryei, B., Horváth, K.Zs., Agyemang Duah, S., Takács, S., Égei, M., Szuvandzsiev, P. and Neményi, A. 2021. Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) in the mitigation of water deficiency of tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.). J. Cent. Eur. Agric. 22(1): 167-177.
3. 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(1): 401-413.
4. Daood, H.G., Bencze, G., Palotas, G., Pek, Z., Sidikov, A. and Helyes, L. 2014. HPLC Analysis of carotenoids from tomatoes using cross-linked C₁₈ column and MS detection. J. Chromatogr. Sci. 52(9): 985-991.
5. Deák K.J. és Égei M. 2020. Vízellátás hatása ipari cseresznye paradicsom termésképzésére és a fontosabb fitonutrienseire. Kertgazdaság, 52(3): 17-26.
6. Duc, N.H., Mayer, Z., Pék, Z., Helyes, L. and Posta, K. 2017. Combined inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi, *Pseudomonas fluorescens* and *Trichoderma* spp. for enhancing defense enzymes and yield of three pepper cultivars. Appl. Ecol. Environ. Res. 15.(3): 1825-1829.
7. Eisenhauer, B., Natoli, S., Liew, G. and Flood, V.M. 2017. Lutein and zeaxanthin—Food sources, bioavailability and dietary variety in age-related macular degeneration protection. Nutrients, 9: 120.
8. Estévez-Santiago, R., Olmedilla-Alonso, B., Beltrán-de-Miguel, B. and Cuadrado-Vives, C. 2016. Lutein and zeaxanthin supplied by red/orange foods and fruits are more closely associated with macular pigment optical density than those from green vegetables in Spanish subjects. Nutr. Res. 36: 1210-1221.
9. Favati, F., Lovelli, S., Galgano, F., Miccolis, V., Di Tommaso, T. and Candido, V. 2009. Processing tomato quality as affected by irrigation scheduling. Sci. Hort. 122: 562-571.
10. Granado, F., Olmedilla, B. and Blanco, I. 2003. Nutritional and clinical relevance of lutein in human health. Br. J. Nutr. 90: 487-502.
11. Helyes, L. and Varga, G. 1994. Irrigation demand of tomato according to the results of three decades. Acta Hort. 376: 323-328.
12. Helyes, L., Lugasi, A. and Pék, Z. 2012. Effect of irrigation on processing tomato yield and antioxidant components. Turk. J. Agric. For. 36: 702-709.
13. Horvath, K.Zs., Andryei, B., Helyes, L., Pék, Z., Neményi, 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.
14. Khalid, M., ur-Rahman, S., Bilal, M., Iqbal, H.M.N. and Huang, D. 2019. Biosynthesis and biomedical perspectives of carotenoids with special reference to human health-related applications. Biocatal. Agric. Biotechnol. 17: 399-407.
15. Kumar, P.S., Singh, Y., Nangare, D.D., Bhagat, K., Kumar, M., Taware, P.B., Kumari, A. and Minhas, P.S. 2015. Influence of growth stage specific water stress on the yield, physico-chemical quality and functional characteristics of tomato grown in shallow basaltic soils. Sci. Hort. 197: 261-271.
16. Le, T.A., Pék, Z., Takács, S., Neményi, A., Daood, H.G. and Helyes, L. 2018a. The effect of plant growth promoting rhizobacteria on the water-yield relationship and carotenoid production of processing tomatoes. HortScience, 53: 816-822.
17. Le, A.T., Pék, Z., Takács, S., Neményi, A. and Helyes, L. 2018b. The effect of plant growth-promoting rhizobacteria on yield, water use efficiency and Brix Degree of processing tomato. Plant Soil Environ. 64(11): 523-529.

18. Meyers, K.J., Mares, J.A., Igo, R.P., Truitt, B., Liu, Z., Millen, A.E., Klein, M., Johnson, E.J., Engelman, C.D. and Karki, C.K. 2014. Genetic evidence for role of carotenoids in age-related macular degeneration in the carotenoids in age-related eye disease study (CAREDS). *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 55: 587-599.
19. Mondani, F., Khani, K., Honarmand, S.L. and Saeidi, M. 2019. Evaluating effects of plant growth-promoting rhizobacteria on the radiation use efficiency and yield of soybean (*Glycine max*) under water deficit stress condition. *Agric. Water Manag.* 213: 707-713.
20. Nadeem, S.M., Ahmad, M., Zahir, Z.A., Javaid, A. and Ashraf, M. 2014. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnol. Adv.* 32: 429-448.
21. Nemeskéri, E. 2004. Heat tolerance in grain legumes. *Bodenkultur*, 55(1): 3-11.
22. Nemeskéri, E. 2006. Breeding strategy for improvement of colour quality and carotenoid levels in dry pea seeds. *Commun. Biometry Crop Sci.* 1(1): 49-55.
23. Nemeskéri, E., Molnár, K., Pék, Z. and Helyes, L. 2018. Effect of water supply on water use related physiological traits and yield of snap beans in dry seasons. *Irrig. Sci.* 36(3): 143-158.
24. Nemeskéri, E., Molnár, K., Rácz, Cs., Dobos, A.Cs. and Helyes, L. 2019. Effect of water supply on spectral traits and their relationship with the productivity of sweet corns. *Agronomy*, 9, 63; doi:10.3390/agronomy9020063
25. O'Hare, T.J., Fanning, K.J. and Martin, I.F. 2015. Zeaxanthin biofortification of sweet-corn and factors affecting zeaxanthin accumulation and colour change. *Arch. Biochem. Biophys.* 572: 184-187.
26. Ordookhani, K., Khavazi, K., Moezzi, A. and Rejali, F. 2010. Influence of PGPR and AMF on antioxidant activity, lycopene and potassium contents in tomato. *Afr. J. Agric. Res.* 5(10): 1108-1116.
27. Pék, Z., Daood, H.G., Neményi, A., Helyes, L. and Szuvandzsiev, P. 2017. Seasonal and irrigation effect on yield parameters and soluble solids content of processing cherry tomato. *Acta Hort.* 1159: 45-49.
28. Rezayian, M., Niknam, V. and Ebrahimzadeh, H. 2018. Effects of drought stress on the seedling growth, development, and metabolic activity in different cultivars of canola. *Soil Sci. Plant Nutr.* 64(3): 360-369.
29. Sathasivam, R. and Ki, J.S. 2018. A review of the biological activities of microalgal carotenoids and their potential use in healthcare and cosmetic industries. *Mar. Drugs* 16(1): 26. doi: 10.3390/md16010026
30. Sharoni, Y., Linnewiel-Hermoni, K., Khanin, M., Salman, H., Veprik, A., Danilenko, M. and Levy, J. 2012. Carotenoids and apocarotenoids in cellular signaling related to cancer: a review. *Mol. Nutr. Food Res.* 56: 259-269.
31. Takács, S., Pék, Z., Csányi, D., Daood, H.G., Szuvandzsiev, P., Palotás, G. and Helyes, L. 2020. Influence of water stress levels on the yield and lycopene content of tomato. *Water*, 12, 2165; doi:10.3390/w12082165
32. Vejan, P., Abdullah, R., Khadiran, T., Ismail, S. and Boyce, A.N. 2016. Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability—A review. *Molecules* 21: 573; doi:10.3390/molecules21050573

Effects of biofertilizer on bioactive substances of processing tomatoes in different water supply

LE, A.T¹., BULGAN, A²., ÉGEI, M²., TAKÁCS, S².

¹ Vietnam Institute of Agricultural Engineering and Postharvest Technology (VIAEP),
Vietnam

² Institute of Horticulture, Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, H-2100
Gödöllő, Páter K. Street 1., Hungary

E-mail: Takacs.Sandor@uni-mate.hu

Summary

Biofertilizers help plant growth and improve water and nutrient uptake in drought. The aim of this research is to investigate the effect of different rhizobacterial formulations of biofertilizers on lycopene, β -carotene and lutein content of processing tomato hybrids under different water supply conditions in drought and wet years. Seedlings of tomato cultivar Uno Rosso were treated with Phylazonit before planting (PH+) and after planting (PH++) and cultivar H-1015 with a B2 and B3 formulation containing rhizobacterial strains before planting. After transplanting, the plants received regular irrigation (I100), deficit water supply (I50) and plots without irrigation (I0) were the control. In a drought and rainy year, under deficit irrigation, PH++ treatment significantly increased the marketable yield, but in a drought year, the green immature yield increased. Under deficit irrigation, PH++ significantly increased the lycopene content of Uno Rosso, but high β -carotene content was only observed in drought years. In drought year, under deficit irrigation, B2 treatment increased the lycopene and beta-carotene and lutein content of H-1015, B3 treatment under regular irrigation increased lycopene and lutein content. In moderate water deficit (drought year + deficit irrigation), Phylazonit and B2 formulation with similar bacterial composition can increase lycopene and beta-carotene content in both cultivars, but in rainy year their effect varied depending on water supply. B2 and B3 bacterial preparations provided the highest lutein content under good water supply.

Keywords: biofertilizer, carotenoids, irrigation, tomatoes, rhizobacteria

Szerzők

Le Anh Tuan – researcher, Vietnam Institute of Agricultural Engineering and Postharvest Technology (VIAEP), Vietnam

Bulgan Andryei – researcher, Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Kertészeti Intézet, 2100 Gödöllő, Páter Károly u.1

Égei Márton – PhD hallgató, Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Kertészeti Intézet, 2100 Gödöllő, Páter Károly u.1

Takács Sándor – tudományos munkatárs (kapcsolattartó szerző), Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Kertészeti Intézet, 2100 Gödöllő, Páter Károly u.1