

ACTA AGRONOMICA ÓVÁRIENSIS



VOLUME 62.

NUMBER 1.

**Mosonmagyaróvár
2021**



**SZÉCHENYI
EGYETEM**
UNIVERSITY OF GYŐR



ACTA AGRONOMICA ÓVÁRIENSIS



Mosonmagyaróvár

VOLUME 62.

NUMBER 1.

2021

SZÉCHENYI ISTVÁN UNIVERSITY
Faculty of Agricultural and Food Sciences
Mosonmagyaróvár
Hungary

SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM
Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar
Mosonmagyaróvár

Közleményei

Volume 62. Number 1.

Mosonmagyaróvár

2021

Editorial Board/Szerkesztőbizottság

Bali Papp Ágnes Jolán PhD	Pinke Gyula DSc
Hanczné Dr Lakatos Erika PhD	Reisinger Péter CSc
Hegyi Judit PhD	Salamon Lajos CSc
Kovács Attila József PhD	Schmidt Rezső CSc
Kovácsné Gaál Katalin CSc	Szalka Éva PhD <i>Editor-in-chief</i>
Manninger Sándor CSc	Varga László DSc
Molnár Zoltán PhD	Varga-Haszonits Zoltán DSc
Nagy Frigyes PhD	Varga Zoltán PhD
Neményi Miklós MHAS	
Ördög Vince DSc	

Reviewers of manuscripts/A kéziratok lektorai

Acta Agronomica Óváriensis Vol. 62. No. 1.

Abayné Dr. Hamar Enikő, Ballagi Áron, Békési Pál, Czimber Gyula, Füzi István, Giczi Zsolt, Göllei Attila, Gulyás László, Kapcsándi Viktória, Kohut Ildikó, Kukorelli Gábor, Neményi András, Polgár J. Péter, Székelyhidi Rita, Tóth Zoltán, Varga Jenő

Acta Agronomica Óváriensis Vol. 62. No. 1.

Cover design/Borítóterv: Andorka Zsolt © 2000
Competitor-21 Kiadó Kft., Győr

Address of editorial office/A szerkesztőség címe
H-9201 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.



AZ *ARTHROSPIRA PLATENSIS* CIANOBAKTÉRIUM HATÁSA BOGYÓS GYÜMÖLCSŰ FAISKOLAI NÖVÉNYEKRE

NOTTERPEK T. JÁCINT¹ – ÖRDÖG VINCE^{1,2}

¹Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar,
Növénytudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár;

²University of KwaZulu-Natal, Research Centre for Plant Growth and Development,
School of Life Sciences, Pietermaritzburg Campus, South Africa

ÖSSZEFOGLALÁS

Kísérleteink célja az volt, hogy talajba adagolt *Arthrospira platensis* cianobaktérium biomasszával javítsuk konténeres faiskolai növények növekedését és fejlődését. Az ausztriai Kramer & Kramer faiskolában 2017 tavaszán kezeltük a kísérleti növényeket, nevezetesen a: *Ribes sativum* cv. *Weißer Versailler*, a *Ribes rubrum* cv. *Jonkheer van Teets*, a *Ribes nigrum* cv. *Titania* ribizli fajtákat. A kísérletben használt por alakú száraz cianobaktérium biomasszát (*Arthrospira platensis*) az Agro-Bioferment Kft szállította Myanmarból. A konténeres (5 L) növények talajához 2, 4 vagy 6 gramm cianobaktérium biomasszát adagoltunk a kísérlet kezdetén. Mértük a levelek relatív klorofill tartalmát, törzsvastagságát, a növények magasságát, és az elágazások számát. A 120-napos kísérlet végén mért adatok szerint az *Arthrospira platensis* talajkezelések kedvezően, de eltérő módon befolyásolták a vizsgált három ribizli fajta egyes tulajdonságait. A levelek klorofill tartalma a legnagyobb mértékben (75-88%) a vizsgált *R. rubrum* fajtájánál növekedett, ami 4 g kezelésnél a törzsvastagság (42%) és az elágazások számának (37%) növekedésével járt együtt. A vizsgált *R. sativum* és *R. nigrum* fajtánál 6 g talajkezeléssel az elágazások számának jelentős növekedése (81-85%) volt elérhető, míg a törzsvastagság a kontrolltól nem tért el. A fajták törzsvastagsága és az elágazások száma

között ellentétes tendencia volt megfigyelhető. A több elágazás kisebb törzsvastagsággal járt együtt és fordítva, az elágazások kisebb száma nagyobb törzsvastagsággal.

Kulcsszavak: cianobaktérium, biostimuláns, boggyós gyümölcs, növekedés, fejlődés, klorofill-tartalom

BEVEZETÉS ÉS IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az ember nagyjából 10.000 éve folytat tudatos mezőgazdasági termelést, azonban csak az utolsó száz évben kezdte el a tápanyagok talajba történő visszapótlását *Schmidt* (2011). Kezdetben szerves trágyázással, majd mesterséges, kémiai úton gyártott tápanyagokkal próbálta pótolni a növények és az extenzív növénytermesztés által teremtett tápanyaghiányt. Annak ismeretében, hogy a kémiai úton előállított növényvédőszeres és tápanyag-utánpótlást szolgáló készítmények és bomlástermékeik szennyezik környezetünket, napjainkban egyre inkább az új, fenntartható megoldások felé, közülük is a mikroalgák mezőgazdasági hasznosíthatóságának irányába fordult a figyelem. A legkülönbözőbb eredetű biostimulánsok, köztük a mikroalgák is már kis mennyiségben kedvezően befolyásolják a növények növekedését és fejlődését (*Craige*, 2011; *du Jardin*, 2015; *Michalak et al.* 2017; *Rouphael és Colla*, 2020).

Ma már bizonyított, hogy a cianobaktériumok és eukarióta mikroalgák számos bioaktív vegyületet, például a biostimuláns hatásért leginkább felelős növényi hormonokat termelnek *Tarakhovskaya et al.* (2006), halmoznak fel, vagy választanak ki környezetükbe (*Ördög* 1999; *Stirk et al.* 2013). Előnyük a szintetikus hormonszintetizálókkal szemben, hogy a sejtekből kikerült hormonok együttese hat a növényekre, ezért széles hatásspektrumúak (*Sergeeva et al.* 2002; *Prasanna et al.* 2010, *Sahin*, 2011; *Yadav et al.* 2011). A növényi biostimulánsok a tápanyagok felvételét és hasznosítását, a növények növekedését és fejlődését *Zodape* (2011), valamint termését és termésminőségét befolyásolják, de növelik a növények biotikus (kórokozók, kártevők) és abiotikus (szárazság) stressztűrő képességét is *Battacharyya et al.* (2015). Az algakivonatok növényi hormontartalmuk mellett poliszacharid-termelésük miatt is kedvező hatásúak a növényekre. A poliszacharidok növelik a talajok víz-visszatartó és tápanyag megkötő képességét, fokozzák a magvak csírázását, serkentik a tápanyagfelvételt, gyökeresedést, növekedést, fejlődést, gyümölcs-kötődést és érést *Olasz* (2013).

A mikroalgák biostimuláns hatása mellett az utóbbi időben növekszik az érdeklődés antimikrobiális anyagaik iránt is. A cianobaktériumok közül az *Anabaena*, *Anabaenopsis*, *Calothrix*, *Chlorogloeopsis*, *Cylindrospermum*, *Gloeotheca*, *Nostoc*, *Plectonema*, *Haplosiphon*, *Synechocystis*, *Athrospira*, és *Oscillatoria* törzsek másodlagos anyagcseretermékei között vannak lipopeptidek (40%), aminosavak (5,6%), zsírsavak (4,2%), makrolidok és amidok (9%) (Prasanna 2010). A lipopeptidek számos hatásuk mellett lehetnek antimikotikus és gyomirtó hatásúak is (Yadav et al. 2011; Soha 2012). Egyes másodlagos anyagcseretermékeknek allelopátiás hatást tulajdonítanak Molisch (1937). A cianobaktériumok másodlagos anyagcseretermékeikkel hozzájárulnak a növénytermesztés sikerességéhez Sergeeva et al. (2002).

A mikroalgáknak a kertészeti és szántóföldi növények gyökeresedésére, klorofill tartalmára és termésére gyakorolt kedvező hatása irányította figyelmünket további növények kezelésének a kutatására. Kísérleteinkben a korábban különböző növényfajokon végzett mikroalgás levélkezelésekből származó ismereteinket, kombináltuk a kertészeti termelésben használt technológiai eljárásokkal. Célunk egy olyan mikroalga-alapú, részben bio-termesztéstechnológiai eljárás kidolgozása volt, amely segíti bogyós gyümölcsű, konténeres fiatal növények kezdeti fejlődését, továbbá az abiotikus (vízhiány, hősokk), és biotikus stressz okozta károk enyhítését.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Kísérleteinket az ausztriai Kramer&Kramer faiskola üzemi területén, szabadföldi körülmények között 2017.03.17-én állítottuk be. A konténeres növények talajkezelésére por alakú szárított cianobaktérium biomasszát (*Arthrospira platensis*) használtunk, amit az Agro-Bioferment Kft. (Budapest) szállított Németországból (Institut für Getreideverarbeitung GmbH, Nuthetal). A kísérleti növények kezelésére a termelésben használt 5 literes konténerek talajához 2, 4 vagy 6 gramm cianobaktérium biomasszát adagoltunk (1. ábra). A kísérleti kezeléseket minden esetben 4 ismétléssel végeztük a kísérletbe vont növények száma 40-60 növény/ismétlés volt.

A kísérleti növények a *Ribes sativum* cv. *Weißer Versailler*, *Ribes rubrum* cv. *Jonkheer van Teet's* és a *Ribes nigrum* cv. *Titania* voltak. A konténeres növények neveléséhez minden alkalommal a németországi Stender® AG faiskolai 3 m³-es kiserelésben beszerezett földkeverékét használtuk, amely 0,1 kg/m³ vasat (kelát formában), 0,1 kg/m³

mikroelemet, 1 kg/m^3 lassan feltáródó tápanyag granulátumot (8-9 hónap), Osmocote-ot tartalmazott. A használt talaj pH_{KCl} értéke 5,4-5,8 volt. A kísérlet ideje alatt igény szerint, a szerhasználati engedélyeknek megfelelően a következő növényvédelmi kezeléseket alkalmaztuk: fungicid kezelések: Cuprosin progress (383 g/l réz-hidroxid), Dithane Neo Tec (750 g/kg mancoceb); inszekticid kezelések: Calypso (480 g/L thiacloprid), Mospilan (200 g/kg acetamiprid). A kontroll növényeket a kezelt növényekkel azonos feltételek mellett tartottuk. A természetes csapadék mellett ($17 \text{ mm}/120 \text{ nap}$) a növények naponta 3 L/m^2 esőztető öntözést kaptak a vegetációs periódus kezdetén, amelyet a fejlődés későbbi szakaszaiban 5 , majd 7 L/m^2 mennyiségre növeltünk.



1. *ábra*: A növénykísérleteket mindhárom fajtával a *Ribes rubrum* cv. *Jonkheer van Teet's* ribizli fajtához hasonlóan állítottuk be.

A tenészedényeken a vízszintes vonal a kezeletlen növényeket, míg az egy, kettő, és három pont a 2, 4, 6 grammos cianobaktérium talajkezeléseket jelöli. Az ábra a növényeket 8 héttel a kezelés után mutatja.

Figure 1: Plant experiments with all three cultivars were set up similarly to the cultivar *Ribes rubrum* cv. *Jonkheer van Teet's*.

On culture vessels, the horizontal line indicates untreated plants, while one, two, and three points indicate 2, 4, 6 gram cyanobacterial soil treatments. The figure shows the plants 8 weeks after treatments.

A 120-napos kísérlet során kéthetente mértük a kísérleti növények leveleinek relatív klorofill tartalmát, a növények törzsvastagságát és magasságát, továbbá feljegyeztük az elágazások számát. A növények törzsvastagságát BERGER digitális 150 mm-es tolómérővel, minden esetben a talaj közvetlen felszínén határoztuk meg. A levelek relatív klorofill tartalmát hordozható klorofillmérő készülékkel határoztuk meg (SPAD 502 Plus, MINOLTA, Japán). A tanulmányban a kísérlet végén, a növények eladása előtt mért eredményeket foglaltuk össze. A vizsgálatok és mérések adatait 2007 Windows 7 Home Premium OA szoftver, Microsoft Excel program IBM SPSSR Statistics 19.0 for Windows szoftver statisztika programjával elemeztük. Az ismétlések átlagtól való eltérét Student teszttel, a kezelések szignifikáns eltérését a kontrolltól pedig Duncan teszttel számítottuk.

EREDMÉNYEK

Ribes rubrum cv. *Jonkheer van Teet*'s

Az *A. platensis* talajkezelések a kísérlet végére (17 héttel a kezelést követően) a vizsgált paraméterek közül a legnagyobb mértékben, 75-88%-kal a kísérleti növények relatív klorofill tartalmát növelték (1. táblázat). A 2 grammos talajkezelés 88%-kal (P=0,1%), a 4 grammos 83%-kal (P=5%, míg a 6 grammos talajkezelés 75%-kal (P=5%) növelte a *Ribes rubrum* cv. *Jonkheer van Teet*'s levelének relatív klorofill tartalmát.

1. táblázat Az *Arthrospira platensis* cianobaktérium talajkezelések hatása a *Ribes rubrum* cv. *Jonkheer van Teet's* piros ribizli fajta relatív klorofill tartalmára és egyes tulajdonságaira a kísérlet végén (2017.07.15.)

Table 1. The effect of *Arthrospira platensis* soil treatments on *Ribes rubrum* cv. *Jonkheer van Teet's* red currant variety at the end of the experiment (15.07.2017.)

Fajta(1)	Dózis (g) (2)	Vizsgált paraméterek (3)			
		Relatív klorofill tartalom (4)	Törzsvastagság (mm) (5)	Növénymagasság (cm) (6)	Elágazások száma (db) (7)
<i>Ribes rubrum</i> cv.	-	37,3±1,3	8,4±0,3	43,3±0,6	2,7±0,07
	2	70,3±6,7***	10,6±0,6***	46,4±1*	3,5±0,24***
	4	68,2±4,8***	11,1±0,4***	47,4±0,8**	3,7±0,15***
<i>Jonkheer van Teet's</i>	6	65,1±5,9***	11,9±0,1***	54,1±0,7***	3,0±0,12 ^{ns}

(***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, +P=10%, ns=nem szignifikáns)

(1) species and variety, (2) doze, (3) investigated parameters, (4) relative chlorophyll content, (5) stem thickness, (6) plant height, (7) number of side branches

A kontrollhoz viszonyított törzsvastagságot a cianobaktérium-talajkezelések átlagosan 26-42%-kal növelték, a legnagyobb mértékben a 6 g kezelés 42%-kal (P=0,1%). A talajkezelések a növények átlagos magasságát növelték a legkevésbé, átlagosan 7-25%-kal. A növények magassága a 6 grammos kezelés hatására nőtt 10%-nál nagyobb mértékben, vagyis 25%-kal a kontrollhoz viszonyítva. Az elágazások számát a 2 g (29%) és 4 g (37%) kezelések növelték statisztikailag igazolható módon, míg a 6 g kezelés hatása csekély különbséget eredményezett a kontrollhoz viszonyítva.

Ribes sativum cv. *Weisse Versailles*

A kísérlet végén a talajkezelések hatására a növények leveleinek klorofill tartalma átlagosan 21-34%-kal lett több mint a kontroll növények leveleiben (2. táblázat). A 2 g kezelés 34% (P=1%), míg a 4 és 6 g 21% és 22% (P=5%) növekedést eredményezett.

2. táblázat Az *Arthrospira platensis* cianobaktérium talajkezelések hatása a *Ribes sativum* cv. *Weisse Versailles* fehér ribizli fajta relatív klorofill tartalmára és egyes tulajdonságaira a kísérlet végén (2017.07.15.)

Table 2. The effect of *Arthrospira platensis* soil treatments on *Ribes sativum* cv. *Weisse Versailles* white currant variety at the end of the experiment (15.07.2017)

Fajta(1)	Dózis (g) (2)	Vizsgált paraméterek (3)			
		Relatív klorofill tartalom (4)	Törzsvastagság (mm) (5)	Növénymagasság (cm) (6)	Elágazások száma (db) (7)
<i>Ribes sativum</i> cv. <i>Weisse Versailles</i>	-	38,5±3,5	8,8±0,4	58,1±2,8	2,6±0,2
	2	51,6±2,4**	10,2±0,7*	76,7±3,4***	3,3±0,3 ⁺
	4	46,7±1,3*	11,1±0,4**	71,3±1,7***	3,4±0,4*
	6	46,8±2,2*	9,3±0,6 ^{ns}	55,3±1,1 ^{ns}	4,7±0,2***

(***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, +P=10%, ns=nem szignifikáns)

(1) species, (2) dozis,(3) test parameters, (4) relative chlorophyll content, (5) stem thickness (6) plant height, (7) number of side branches

A cianobaktérium kezelések 6-26%-kal növelték a kísérleti növények törzsvastagságát. Statisztikailag igazolható növekedést a 4 g (26%) és a 2 g kezelés (16%) eredményezett. A növények magassága 2 és 4 g kezelések hatására 32%-kal és 23%-kal növekedett, míg 6 g 5%-kal csökkentette a növényt magasságát. Az elágazások számát 27-81%-kal növelték a kezelések. A 2 és 4 g kezelések hatására a növekedés 27% és 31% lett. A 6 g kezelés 81%-kal (P=0,1%) növelte az elágazások számát a kontroll növényekhez viszonyítva.

Ribes nigrum cv. *Titania*

A talajkezelések átlagosan 10-18%-kal növelték a kísérleti növények relatív klorofill tartalmát a vizsgálati időszak végére. A legnagyobb növekedést 2 g kezelés eredményezte (18%) a kontrollhoz viszonyítva (3. táblázat). A növények törzsvastagsága a 2, 4 és 6 g kezelések hatására 14%-kal, 15%-kal és 23%-kal növekedett. A kezelt növények

átlagosan 2-18%-kal lettek magasabbak a kontroll növényeknél. A legnagyobb növekedés 4 g talajkezelésnél volt mérhető (18%). A talajkezelések hatására a legnagyobb mértékben az elágazások száma növekedett: 2, 4 és 6 g hatására a növekedés 52%, 48% és 85% volt.

3. táblázat Az *Arthrospira platensis* cianobaktérium talajkezelések hatása *Ribes nigrum* cv.*Titania* fekete ribizli fajta relatív klorofill tartalmára és egyes tulajdonságaira a kísérlet végén (2017.07.15.)

Table 3. The effect of *Arthrospira platensis* soil treatments on *Ribes nigrum* cv.*Titania* black currant variety at the end of the experiment (15.07.2017)

Fajta(1)	Dózis (g) (2)	Vizsgált paraméterek (3)			
		Relatív klorofill tartalom (4)	Törzsvastagság (mm) (5)	Növénymagasság (cm) (6)	Elágazások száma (db) (7)
<i>Ribes nigrum cv.Titania</i>	-	35,1±0,9	10,6±0,2	96,6±4,3	2,7±0,1
	2	40,0±1,0***	12,1±0,1***	110,5±1,2**	4,1±0,2***
	4	38,6±0,9**	12,2±0,1***	113,8±0,6***	4,0±0,3***
	6	41,3±0,8***	13,0±0,3***	98,3±0,7 ^{ns}	5,0±0,3***

(***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, +P=10%, ns=nem szignifikáns)

(1) species, (2) dozis,(3) test parameters, (4) relative chlorophyll content, (5) stem thickness (6) plant height, (7) number of side branches

AZ EREDMÉNYEK MEGVITATÁSA

Vandenbergh et al. (2017) szerint a mezőgazdasági termelékenység növelése indukálja a mesterséges tápanyagok és peszticidok intenzív használatát, amely károsan befolyásolja a talaj- és vízminőséget és végső soron az emberi egészséget. Ugyanakkor a növényi probiotikus mikroorganizmusok, más néven „bioprotektorok”, „biokontrollerek”, biotrágyák vagy biostimulánsok, hasznos mikroorganizmusok, ígéretes alternatívát kínálnak, és csökkentik az egészségügyi és környezeti problémákat. *Ozyhar et al. (2019)* szerint a biostimulánsok faiskolai alkalmazása még nem elterjedt gyakorlat, azonban néhány ígéretes kutatás már alátámasztja a biostimulánsok alkalmazhatóságának

létjogosultságát. Kísérletében bizonyította aminosavakat tartalmazó fehérje hidrolizátum (Siapton®, Isagro) pozitív hatását *Eucalyptus globulus* palánták növekedésére, fejlődésére.

Algás kezelések hatására növekszik a növények fényhasznosítása, amely első lépésben a klorofill-tartalom növekedésében mutatkozik meg, ez később pozitívan hat a növény fejlődésére és termőképességére Khan *et al.* (2009). A közelmúltban számos publikáció bizonyította tengeri és édesvízi mikroalgák kedvező hatását különböző gazdasági növények leveleinek klorofill tartalmára (Khan *et al.* 2009, Tóth *et al.* 2016; Tóth *et al.* 2019; Takács *et al.* 2019, Ullah *et al.* 2012.). A klorofillok mennyiségének változása több módon is bekövetkezhet. A növény nagyobb mennyiségű nitrogént képes felvenni, ami elősegíti a klorofillok termelődését Ogunlela *et al.* (1989), vagy egyes növényi hormonok növelik annak mennyiségét. Ugyanakkor a klorofillok koncentrációját számos stressz-hatás, leginkább a szárazság csökkenti (Paknejad *et al.*, 2007; Sun *et al.* 2011). A természetes növényi növekedést szabályozó anyagok megvédik a színtesteket a károsodástól Ullah *et al.* (2012).

Spinelli *et al.* (2009) *Ascophyllum nodosum* levélkezeléssel 12%-kal növelte *Malus domestica* 'Fuji' levelének klorofill tartalmát, ugyanakkor a kezelések nem voltak hatással a terméskezésre. A korábban paprikával (*Capsicum annuum* L.) és repcével (*Brassica napus* L.) végzett mikroalgás kísérleteinkben a levélkezelések hatására nőtt a növények klorofill tartalma Tóth *et al.* (2016). Bogyós gyümölcsöknél – tudomásunk szerint – eddig még nem írták le a cianobaktérium kezelés hatására bekövetkező klorofill tartalom növekedését. Jelen kísérletünkben a klorofill tartalom legnagyobb növekedését (75-88%) a *R. rubrum*-nál mértük, a legkisebbet pedig a *R. nigrum*-nál (14-18%). Feltételezhető, hogy az *Arthrospira platensis* által termelt növényi hormonok és egyéb másodlagos anyagsere termékek befolyásolták kedvezően a klorofillok termelődését a vegetációs időszakban, ami hozzájárult a növények erőteljesebb növekedéséhez.

Guedes *et al.* (2018) hibrid papaja (*Carica papaya*) palánták gyökérszónájába adagolt 0,8 g/L koncentrációjú *A. platensis* szuszpenziójával növelték a növények friss és szárított tömegét, az elsődleges gyökérszaporítást és az elágazások számát. Korábbi kisparcellás kísérleteinkben bizonyítottuk, hogy a *Nostoc entophyllum* 0,3 g/L levélkezelés szignifikánsan növelte a paprika (*Capsicum annuum*) Tóth (2010), valamint az őszi káposztarepce (*Brassica napus* L.) elágazásainak számát Tóth *et al.* (2016; 2019). Ilyen tanulmányt faiskolai növények esetében nem ismerünk. Kísérletünkben a 6 g talajkezelés

jelentősen növelte a *R. sativum* (81%) és a *R. nigrum* elágazásainak a számát (85%). A *R. rubrum*-nál a legnagyobb növekedést 4 g talajkezeléssel érték el, de még így is csupán 37%-kal növekedett az elágazások száma.

Shariatmadari et al. (2011) *Nostocaceae*, *Oscillatoriaceae*, és *Chroococcaceae* törzsek 1%-os szuszpenziójával szignifikánsan növelték *Cucurbita maxima*, *Cucumis sativus* és *Solanum lycopersicum* palánták növénymagasságát. *Takács et al.* (2019) kisparcellás növénykísérletekben mikroalgás kezeléssel szignifikánsan növelték őszi búza (*Triticum aestivum* cv. „Bőség”), míg *Tóth et al.* (2016; 2019) az őszi káposztarepce (*Brassica napus* L.) növénymagasságát. *Amer et al.* (2019) az *A. platensis* levélkezeléssel (3 g/l) 106%-kal növelte az articsóka (*Cynara cardunculu*) növénymagasságát. Kísérletünkben a 6 g talajkezelés növelte az elágazások számát a vizsgált *R. sativum* és a *R. nigrum* fajtánál, de jelentősen nem befolyásolta a növénymagasságot.

Mattner et al. (2013) *Ascophyllum nodosum* és *Duviellaes potatorum* kezeléssel növelték a brokkoli szárvastagságát. *Alam et al.* (2013) bizonyították az *Ascophyllum nodosum* talajkezelések pozitív hatását különböző eper fajták növekedésére, fejlődésére, valamint üvegházi és szántóföldi körülmények közt a növények közvetlen gyökérszónájában elhelyezkedő bioszférára gyakorolt pozitív hatásait. Tengeri makro- és édesvízi mikroalga készítmények alacsony koncentrációjú levélkezelései, vagy gyökérhez történő öntözésük stimulálta a növény növekedését (*Featonby-Smith és Van Staden*; 1983a,b, 1984 a, b; *Nelson és Van Staden*, 1984). *Mattner et al.* (2013) valamint *Battacharyya et al.* (2015) szerint a talajkezeléseknek számtalan pozitív hatásuk van, többek között csökkentik a káros mikrobiális tevékenységet, javítják a gyökeresedést, javul a talaj termékenysége és annak szerkezete mind konténerben, mind szabad földön. *Ross és Holden* (2010) eper talajába csepegtető öntözéssel juttatott *Ascophyllum nodosum* segítségével csökkentette a táptalajok sótartalmának hatását, így javította a tápanyagfelvételt. Számos kutatás bizonyítja, hogy a talajba juttatott tengeri és mikroalga készítmények javítják a növényi növekedést, fejlődést, virág és terméképzést, gyökérfejlődést, növelik a levelek klorofill tartalmát (*Crouch és van Staden*, 1992; *Whapham et al.*, 1993, *Blunden et al.*, 1996; *Fan et al.* 2010). *Soltys et al.* (2019) biostimulánsok (szalicilsav, oxálsav és chitozán) különböző koncentrációjú mag-, -és levélkezeléseivel pozitívan befolyásolta faiskolában termesztett *Pinus sylvestris* gyökérnyak vastagságát, gyökér-, -és hajtáshosszúságát és a föld feletti részek száraz

tömegét. A vizsgált bogyós gyümölcsű növények közül a *R. rubrum* törzsvastagta növekedett a legnagyobb mértékben, 6 g/l talajkezelésnél 42%-kal.

Kísérleti eredményeink igazolták, hogy az *Arthrospira platensis* talajkezelések kedvezően, de eltérő módon befolyásolták a vizsgált három ribizli fajta egyes tulajdonságait. Több elágazás a vizsgált *R. rubrum* fajtánál 4 g cianobaktérium talajkezeléssel, míg a másik két fajtánál 6 g talajkezeléssel volt elérhető. A fajták törzsvastagsága és az elágazások száma között ellentétes tendencia volt figyelhető meg. A több elágazás kisebb törzsvastagsággal járt együtt és fordítva, az elágazások kisebb száma nagyobb törzsvastagsággal.

THE EFFECT OF *ARTHROSPIRA PLATENSIS* CYANOBACTERIA ON NURSERY BERRY PLANTS

JÁCINT NOTTERPEK T.¹ – VINCE ÖRDÖG^{1,2}

¹Széchenyi István University Faculty of Agricultural and Food Science
Institute of Plant Biology, Mosonmagyaróvár, Hungary

²University of KwaZulu-Natal, Research Centre for Plant Growth and Development,
School of Life Sciences, Pietermaritzburg Campus, South Africa

ABSTRACT

The aim of the experiments was to improve the growth and development of container nursery plants by applying *Arthrospira platensis* cyanobacterial biomass to the soil. At the Kramer & Kramer nursery in Austria, the following experimental plants were treated in the spring of 2017: *Ribes sativum* cv. *Weißer Versailler*, *Ribes rubrum* cv. *Jonkheer van Teet's*, *Ribes nigrum* cv. *Titania* currant varieties. The powdered dry cyanobacterial biomass (*Arthrospira platensis*) used in the experiment was delivered by the Agro-Bioferment Ltd. from Myanmar. At the beginning of the experiment 2, 4, or 6 grams of cyanobacterial biomass was applied to the soil of the (5 L) container plants. The relative chlorophyll content of the leaves, stem thickness, plant height, and the number of

branches were measured. Data measured at the end of the 120-day experiment showed that soil treatments of *Arthrospira platensis* had a positive but different effect on certain qualities of the three observed currant varieties. The chlorophyll content of the leaves increased the most (75-88%) in the studied *R. rubrum* variety, which was accompanied by an increase in the stem thickness (42%) and the number of branches (37%) with 4-gram of treatment. Concerning the studied *R. sativum* and *R. nigrum* varieties, a significant increase (81-85%) was achieved with 6-gram soil treatment in the number of branches, while the stem thickness did not differ from the control. An opposite tendency was detected between the stem thickness and the number of branches of the different varieties. More branches indicated less thick stems and vice versa, fewer branches were associated with thicker stems.

Keywords: cyanobacteria, biostimulant, berry fruits, growth, development, chlorophyll content

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A közlemény az Innovatív tudományos műhelyek a hazai agrár felsőoktatásban (EFOP-3-6-3-VEKOP-16-2017-00008) projekt keretében készült. A szerzők köszönettel tartoznak az osztrák Kramer és Kramer Faiskola cégnek, hogy biztosította a kísérlethez szükséges növényeket és a kísérleti helyszínt. Köszönet illeti továbbá Dr. Berzsényi Zoltán professzort a kísérletek eredményeinek statisztikai értékeléséhez nyújtott segítségével.

IRODALOM

Alam, M. Z. - Braun, G. - Norrie, J. - Hodges, D. M. (2013): Effect of Ascophyllum extract application on plant growth, fruit yield and soil microbial communities of strawberry, *Canadian Journal of Plant Science*, 93: 23-36

Amer, H. M. - Marrez, A. D. - Salama, A. B. - Wahba, H. E. - Khalid, K. A. (2019): Growth and chemical constituents of cardoon plant in response to foliar application of various algal extracts, *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 21(2019)1001336

Battacharyya, D. - Babgohari, Z. M. - Rathor, P. - Prithiviraj, B. (2015): Seaweed extracts as biostimulants in horticulture, *Scientia Horticulturae*, 6039, pp 1-9

- Bluden, G. - Jenkins, T. - Wen Liu, Y. (1996): Enhanced leaf chlorophyll levels in plants treated with seaweed extract, *Journal of Applied Phycology*, 8, 353-543
- Craige, J. S. (2011): Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *J. Appl. Phycol.*; 23, 371-393.
- Crouch, J., I. – van Staden, J. (1992): Effect of seaweed concentrate on the establishment and yield of greenhouse tomato plants, *Journal of applied Phcology* 4, 291-296
- duJardin, P. (2015): Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, Special Issue, 196, 3-14.
- Fan, D. - Hodges, D. M. - Zhang, J. - Kirby, C. W. - Ji, X., Locke, S. J. - Critchley, A. T. - Prithviraj, B. (2010): Commercial extract of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* enhances phenolic antioxidant content of spinach (*Spinacia oleracea* L.) which protects *Caenorhabditis elegans* against oxidative and thermal stress, *Food Chemistry* 124 (2011) 195–202
- Featonby-Smith, B.C. - Van Staden, J. (1983a): The effect of seaweed concentrate on the growth of tomatoes in nematode infested soil. *Sci. Horti.* 20: 137 -146.
- Featonby-Smith, B.C. - Van Staden, J. (1983b): The effect of seaweed concentrate and fertilizer on the growth of *Beta vulgaris*. *Z. Pflanzenphysiol.* 112: 155 -162.
- Featonby-Smith, B.C. - van Staden, J. (1984a): Identification and seasonal variation of endogenous cytokinins in *Ecklonia maxima* (Osbeck) Papenf. *Bot. Mar.* 27: 527 -531
- Featonby-Smith, B.C. - Van Staden, J. (1984b): The effect of seaweed concentrate and fertilizer on growth and the endogenous cytokinin content of *Phaseolus vulgaris*. *S. Afr. J. Bot.* 3: 375 -379.
- Guedes, W. A. - Araújo, R. H. C. - Rocha, J. L. A. - de Lima, J. F. - Dias, G.A. - de Oliveira, Á. M. F. - de Lima, R.F. - Oliveira, L. M. (2018): Production of Papaya Seedlings Using *Spirulina platensis* as a Biostimulant Applied on Leaf and Root, *Journal of Experimental agriculture International*, 28(1)1-9
- Khan, W. - Rayirath, U.P. - Subramanian, S. - Jithesh, M.N. - Rayorath, P. - Hodges, D.M. - Critchley, A.T. - Craigie, J.S. - Norrie, J. - Prithviraj, B. (2009): Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *J. Plant Growth Regul.* 28,386–399
- Mattner, S.W. - Wite, D. - Riches, D.A. - Porter, I.J. - Arioli, T. (2013): The effect of kelp extract on seedling establishment of broccoli on contrasting soil types in southern Victoria, Australia. *Biol. Agric. Hort.* 29, 258–270.

- Izabela Michalak, I. - Chojnacka, K. - Saeid, A. (2017): Plant growth biostimulants, dietary feed supplements and cosmetics formulated with supercritical CO₂ algal extracts. Molecules, 22, 66; doi:10.3390/molecules22010066*
- Molisch, H. (1937): Der Einfluss einer Pflanze auf die andere, Allelopathie. Fischer, Jena. pp. 106.*
- Nelson, W.R. - van staden, J. (1984): The effect of seaweed concentrate on growth of nutrient-stressed greenhouse cucumbers. HortScience 19: 81-82*
- Ogunlela, V. B. - Kulmann, A. - Geisler, G. (1989): Leaf Growth and Chlorophyll Content of Oilseed Rape (Brassica napus L.) as Influenced by Nitrogen Supply, J.Agronomy & Crop Science 163. 73-89.*
- Olasz Zs. (2013) Növényi- és talajkondicionáló készítmények engedélyezése, Növény-talaj- és agrárkörnyezet-védelmi igazgatóság, NÉBIH határozat*
- Ozyhar, T. - Mughini, G. - Marchi, M. (2019): Influence of biostimulant application in containerized *Eucalyptus globulus* Labill. seedlings after transplanting, Dendrobiology, vol 82, 17-23*
- Ördög V. (1999) Beneficial effects of microalgae and cyanobacteria in plant/soil system with special regard to their auxin and cytokinin like activity. International workshop and training course on microalgal biology and biotechnology, Mosonmagyaróvár, Hungary, June 13–26, UNESCO (International Cell Research Organization), pp 43–44*
- Paknejad, F. M. - Nasri, H. R. T. - Moghamad, H. - Zahedi, Alahmadi, M. J. (2007): Effect of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of cultivars. Journal of Bioloical Science, 7(6): 841-847*
- Prasanna, R. - Sood, A. - Jaiswal, P. - Nayak, S. - Gupta, V. - Chaudhary, V. - Joshi, M. Natarajan, C. (2010): Rediscovering cyanobacteria as valuable sources of bioactive compounds. Appl.Biochem.Microbiol. 46:133-147.*
- Ross, R. - Holden, D. (2010): Commercial extracts of the brown seaweed *Ascophillum nodosum* enhance growth and yield of strawberries. Hortscience 45:S141*
- Youssef Roupheal, Y. - Colla, G. (2020): Toward a sustainable agriculture through plant biostimulants: from experimental data to practical applications. Agronomy, 10, 1461. doi:10.3390/agronomy10101461*

- Sahin, F. (2011): Development and application of biofertilizers and biopesticides for crop production and protection, *Current Opinion in Biotechnology* 22S (2011) S15–S152, Yeditepe University, Faculty of Engineering And Architecture, Department of Genetics and Bioengineering, Istanbul, Turkey
- Schmidt, R. (2011): Földműveléstan, 14. Fejezet, Tápanyagellátás és földművelés, Debreceni Egyetem, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Pannon Egyetem, Mezőgazda Kiadó
- Sergeeva, E. - Liaimer, A. -Bergman, B. (2002): Evidence for production of the phytohormone indole-3-acetic acid by cyanobacteria. *Planta* 215.2: 229-238.
- Shariatmadari, Z. - Riahi, H. - Shokravi, S. (2011): Study of soil blue-green algae and their effect on seed germination and plant growth of vegetable crops, *Rostaniha* 12(2): 101-110
- Soha, S. M. M. (2012): *Microalgal Biotechnology: Prospects and applications*, *Plant Science*, pp 277
- Soltys, A. - Studnicki, M. - Zawadzki, G. - Aleksandrowicz-Trzcińska, M. (2019): The effects of salicylic acid, oxalic acid and chitosan on damping-off control and growth in Scots pine in a forest nursery, *iForest Biogeosciences and Forestry*, vol 13, pp. 441-446
- Spinelli, F. - Fiori, G. - Noferini, M. - Sprocati, M. - Costa, G. (2009) Perspectives on the use of a seaweed extract to moderate the negative effects of alternate bearing in apple trees. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 84, 131–137.
- Stirk, W.A. - Ördög V. - Rolčík, J. - Novák, O. - Strnad, M. - Bálint, P. - van Staden, J. (2013) Auxin and cytokinin relationships in 24 microalgal strains. *Journal of Phycology* 49(3);pp 459-467.
- Sun, C. H. - Cao, H. - Shao, X. - Lei, X. - Xiao, Y. (2011): Growth and physiological responses to water and nutrient stress in oil palm. *African Journal of Biotechnology*, 10: 10465-10471
- Takács, G. - Stirk, W.A. - Gergely I. - Molnár Z. - van Staden, J. - Ördög V. (2019): Biostimulating effects of the cyanobacterium *Nostoc piscinale* on winter wheat in field experiments, *South african Journal of Botany* 126 (2019) 99-106
- Tarakhovskaya, E. R. - Maslov, Yu. I. - Shishova, M. F. (2006): Phytohormones in Algae, *Russian Journal of Plant Physiology*, Vol. 54, No. 2, pp. 163–170, © Pleiades Publishing, Ltd., Russia 2007

- Tóth J. (2010) Az MACC-612 *Nostoc entophyllum* cianobaktérium hatása fűszerpaprikára, Szakdolgozat, Mosonmagyaróvár, 2010
- Tóth, J. - Geregely I. - Ördög V. (2016): Mikroalga kezelések hatása az őszi káposztarepce (*Brassica napus* L.) növekedésére és fejlődésére, *Növénytermelés* 65(2016)1, 1-26
- Tóth J. - Geregely I. - Berzsenyi Z. - Ördög V. (2019): Influence of *Nosotoc entophyllum* and *tetracystis* sp. on winter survival of rapeseed, *Journal of Agricultural Science and technology* B9(2019) 251-271
- Ullah, F. - Bano, A. - Nosheen, A. (2012): Effects of plant growth regulators on growth and oil quality of canola (*Brassica napus* L.) under drought stress. *Pakistan Journal of Botany*, (44)6 pp1873-1880
- Vandenbergh, L. P. de S. - Garcia, L. M. B. - Rodrigues, C. - Camara, M. C. - Pereira, G. V. de M. - de Oliveira, J. - Soccol, C., R. (2017): Potential applications of plant probiotic microorganisms in agriculture and forestry, *AIMS Microbiology*, 3(3):629-648
- Whapham, C., A. – Bluden, T. – Jenkins, T. – Hankis, D. H. (1993): Significance of betaines in the increased chlorophyll content of plants treated with seaweed extract, *Journal of Applied Phycology*, 5:231
- Yadav, S. - Sinha, R.P. - Tyagi, M.B. - Kumar, A. (2011): Cyanobacterial secondary metabolites. *International J Pharma & Bio Sciences* 2(2):144-167.
- Zodape, S. T. (2001): Seaweeds as a biofertilizer, *Journal of Scientific & Industrial Research*, Vol 60. pp 378-372

A szerzők levélcíme – Address of the authors:

Notterpek T. Jácint

Széchenyi István Egyetem,

Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar,

Növénytudományi Tanszék, 9400, Mosonmagyaróvár, Vár 2.

e-mail: jacint.notterpek@gmail.com

Prof. Dr. Ördög Vince

Széchenyi István Egyetem,

Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar,

Növénytudományi Tanszék,

9200, Mosonmagyaróvár, Vár 2.

e-mail: ordog.vince@sze.hu



ALPAKA GYAPJÚMINTÁK MIKRO – ÉS MAKROELEM TARTALMA KÉT MAGYAROSZÁGI TELEPEN

PRÁGAI ANDREA - PAJOR FERENC - BODNÁR ÁKOS

Magyar Agrár-és Élettudományi Egyetem
Gödöllő

ÖSSZEFOGLALÁS

Célkitűzéseink között szerepelt, hogy felderítsük a hazai alpaka állomány ásványi anyag ellátottságát és ezt összehasonlítsuk a nemzetközi eredményekkel is, alpaka és más kérődzők esetében. Nyírásakor vettünk mintát a gyapjúból, így ez nem jár plusz stresszel az alpakák számára. A kancák és a csődörök között a gyapjú Cu és Zu tartalma tekintetében nem találtunk nagy különbséget. Ca és Fe esetében a kancáknál kaptunk nagyobb értékeket. Az alpakáknál Fe esetében kiugróan magas értéket kaptunk összehasonlítva a juhoknál mért adatokkal. Feltételezéseink szerint ez összefüggésben van azzal, hogy az oxigén felvételhez több Fe-re van szükségük az Andok térségében. A két telepről származó minták szignifikáns eltérést nem tapasztaltunk. Míg a Lengyelországban vizsgált alpakákkal összehasonlítva, a Cu értéke hasonló volt, míg Zn-ből nagyobb értéket kaptak hozzánk képest.

Kulcsszavak: alpaka, gyapjú, mikroelem, Magyarország

IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az emberek, az állatok és a növények biológiai folyamataihoz nélkülözhetetlenek az ásványi anyagok és nyomelemek, amelyek egyrészt a szövetek szerkezeti komponenseinek részei, másrészt a folyadékokban elektrolytként működnek, és katalizátorként szolgálnak az endokrin rendszerben vagy az enzimekben (McDowell, 2003). A testbe kerülő ásványi anyagok a szőrben, gyapjában felhalmozódnak, így az állat tápláltsági állapotát is tükrözik. Ezeket az eredményeket fel lehet használni az állat

különféle betegségeinek és anyagcserezavarainak diagnosztizálásában. Az állatok tápláltsági állapota mellett az ásványi anyagok talajban való felhalmozódása is megítélhető ennek segítségével (Faraz, 2020).

A makroelemekre és a nyomelemekre minden fiziológiai funkcióhoz szükség van, ezek támogatják az optimális növekedést, az egészségi állapotot, az immunrendszert, a termelékenységet és a szaporodást (Hostetler et al., 2003; Herdt and Hoff, 2011; Pavlata et al., 2011; Poppenga et al., 2012).

A juhok gyapjúja is, mint más állatok szőre egy sajátos kémiai indikátor, mely a különböző elemek koncentrációját tartalmazza és visszatükrözi a takarmány mennyiségét és minőségét. E mellett a klímára és a környezet állapotára is utal, de további tényezők is hatnak rá, mint az állat fajtája, kora, ivara, egészségi állapota (Ramirez-Perez et al., 2000). Egyes ásványi anyagok különösen fontosak a kérődzők számára, így a bendő fermentációhoz többek között a Cu, a termékenységhez a Cu, Zn, az erőnléthez Cu és Fe (Moritz, 2014). A Ca-nak a csontalkotásban van főként szerepe, és többek között a szívizomzat működéséhez, az izomkontrakcióhoz is szükséges (Bokori et al., 2003). Reynafarje et al. (1968) vizsgálta alpakák vörösvértest- és hemoglobin szintjét. Megállapította, hogy az alpakák (lámák és vikunyak) több Fe-t használnak fel a vörösvértestek képződéséhez, mint amennyit a hasonló magasságon élő helyi lakosok.

Különböző módszerek állnak rendelkezésre az állat szervezetében található ásványi anyagok mennyiségének meghatározására. Legtöbbször ehhez vért vesznek, azonban ez stresszt okoz az állatok számára. Egyes szerzők ún. minimál invazív módszerként gyapjúból vagy szőrből javasolják a nyomelemek koncentrációjának vizsgálatát, mint a nyomelemek hosszú távú állapotának mutatóját a testben (Pavlata et al., 2011; Ghorbani et al., 2015). Például a Zn meghatározására is a legelterjedtebb a vérvétel, de Clauss et al. (2004) a gyapjú minták használatát is javasolja. Mint új és hasznos módszer, a haj elemzése már az 1960-as évek elején megjelent a humán egészségügyben, de a legjelentősebb fejlődés 1990-ben következett be. Ebben az időben javult az emberi haj szerkezetének és fiziológiájának ismerete, valamint a nyomelemek kimutatásának módszere (Bencze, 1990; Chyla és Zyrnicki, 2000).

Healy és Zieleman (1966) Új-Zélandon különböző fajtájú juhok 21 gyapjú mintájának ásványi anyag tartalmát vizsgálta, amelyek 13 különböző típusú talajon legeltek. A kapott eredményeket Amerikai Egyesült Államok béli átlag adatokkal hasonlította össze, melyeket Burns et al. (1964) vizsgált. Az alábbi átlag értékeket kapta: Ca 1,624 ppm., Zn

113 ppm., Cu 33 ppm., Fe 3,7 ppm. *Patkowska-Sokola et al.* (2009) különböző országokban (Lengyelország, Görögország, Szíria), különböző fajtájú juhok (lengyel hegyi, karagounico, awassi) esetében vizsgálta a makro-nyomelem és nehézfém mennyiségét a gyapjában (*1.táblázat*). Booroola és lengyel merinó fajták között például szignifikáns különbséget találtak Ca, Zn és Fe tekintetében (*Gabryszuk et al.*, 2000). *Krośnicka-Bombala* (1996) vizsgálatai azt bizonyítják, hogy a juhgyapjú és kecskeszőr pigment tartalma befolyásolja bizonyos elemek felhalmozódását. A szerző pozitív összefüggéseket talált az eumelanin tartalom, valamint a Fe, Cu koncentráció között. *Żarski* (1988) Lengyelország különböző régióiból származó szarvasmarhák és özek szőrében is változó Ca, Fe, Zn, és Cu tartalomról számolt be, a talaj és a növény elemeinek gazdagságától függően.

1.táblázat: Juhok gyapjójának ásványianyag tartalma (mg/kg) különböző országokban (*Patkowska-Sokola et al.*, 2009)

Table 1: Mineral content of sheep wool (mg/kg) in different countries (*Patkowska-Sokola et al.*, 2009)

Ásványi anyag (1)	Lengyelország	Görögország	Szíria
Ca	1790,0 ± 392,0	2900,0 ± 591,0	1800,0 ± 351,0
Cu	5,30 ± 1,86	6,79 ± 1,33	10,30 ± 3,09
Fe	22,03 ± 3,55	76,70 ± 27,37	513,17 ± 201,79
Zn	88,80 ± 5,45	75,02 ± 3,88	73,62 ± 9,16

Mineral content (1)

20 cigája és 20 dorper fajtájú juh gyapjóját vizsgálta *Szigeti et al.* (2016) a Debreceni Tangazdaság és Tájékutató Intézet Kismacsi Állattenyésztési Kísérleti telepén, hogy milyen hatással van a genotípus és a mintavétel helye az ásványi anyagtartalomra. A mintákat az állatok marjáról, bordatájékáról és a far részről vették. A Mg, Na, S, Se esetében szignifikáns különbséget találtak, de például a Zn nem mutatott fajtához köthető eltérést. Továbbá megállapították, hogy a mintavétel helye nem befolyásolja az ásványi anyagtartalmat a gyapjában, *Ismamov et al.* (2011) kecskék esetében vizsgálta többek között a szőr mikroelem tartalmát. Nyírott szőr esetében Fe esetében 7,37-19,83 mg/kg, Zn esetében 247,99-37,67 mg/kg közötti értékeket talált. Ugyanakkor a mosott kecskeszőr esetén Fe tartalomra 14,29-25,38 mg/kg, Zn tartalomra pedig 28,56-29,59 mg/kg értékeket mért.

Faraz (2020) 18 fiatal marecha tevé szőrmintáját vizsgálta. Az állatok súlya nagyjából megegyező volt, és 3 csoportba osztotta őket ivar, valamint tartásmód (intenzív, félintenzív és extenzív) alapján. A Ca, Cu, Zn és Fe tekintetében szignifikáns különbséget talált a 3 csoportban (2. táblázat). Az intenzív körülmények között tartott állatok értékei magasabbak voltak. Ivar tekintetében arra jutott, hogy a hím tevék esetében mindig nagyobb ásványi anyagtartalmat kapott, a nőivarúakhoz képest.

2. táblázat: Marecha tevék szőrének ásványianyag tartalma (Faraz, 2020)

Table 2: Mineral content of Marecha camel hair (Faraz, 2020)

Ásványi anyag (1)	Intenzív		Fél intenzív		Extenzív	
	Csődör (3 db) (2)	Kanca (3 db) (3)	Csődör (3 db) (2)	Kanca (3 db) (3)	Csődör (3 db) (2)	Kanca (3 db) (3)
Ca (g/dl)	685,0±25,3	595,7±38,0	523,2±39,2	486,0±8,7	529,8±15,9	498,7±23,2
Cu (g/dl)	7,0±0,4	6,7±0,4	5,6±0,3	4,3±0,4	5,7±0,4	4,5±0,1
Zn (g/dl)	65,3±2,9	59,3±3,0	55,5±1,0	43,8±1,5	59,3±2,4	46,9±1,8
Fe (g/dl)	322,2±6,3	311,1±6,3	294,2±5,1	239,9±7,8	300,6±3,1	242,3±4,7

Mineral content (1) Male (2) Female(3)

Bhakat et al. (2009) Indiában szintén fiatal tevék szőrét vizsgálta. Eredményei szerint a félintenzív körülmények közt volt nagyobb a mikro- és makroelemek koncentrációja.

Holasová et al. (2017) 23 láma és 54 alpaka gyapjút elemezte a szerint, hogy milyen hatással van az ásványi anyag tartalomra a kor, az ivar, a gyapjú színe és a faj. Cu esetében 9, 70 mg/kg-ot mértek átlagosan lámák esetében, alpakáknál 10,22 mg/kg-ot. Zn-ből 145,20 mg/kg-ot lámáknál, alpakáknál 129,81 mg/kg volt az átlagos érték a gyapjában. Az állatok ivara és a gyapjú színe szignifikáns különbséget nem okozott a kapott értékekben.

ANYAG ÉS MÓDSZER

2014 májusában két alpaka tenyésztő farmról, 5-5 állattól vettünk gyapjú mintát, amikor az alpakákat megnyírták. Az alpakák közül 3 hím- és 7 nőivarú egyed volt, korukat tekintve felnőttek (3 évesek elmúltak). A tartás és a takarmányozás lényegében hasonló. Legelőre alapozott, kiegészítésként tápot és szénát kapnak. A minták számozása során az „A” farm állatai 1-től 5-ig kapták a számokat, a „B” farm pedig 6-tól 10-ig. A gyapjút az alpakák oldaláról vettük, légmentes simítózáras tasakban tároltuk, majd elszállítottuk

őket a laboratóriumba. A mintákat a Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar, Környezettudományi Intézet, Környezeti Kémiai és Hulladékgazdálkodási Tanszékének laborjában vizsgálták. A minták előkészítése CEM MARS 5 nagynyomású feltáró géppel történt, 0,25-0,40 g légszáraz mintához 10 mL 65 m/m% HNO₃ hozzáadásával. A roncsolási program 800 W, 500 PSI és 190°C, mely során a felfutási idő: 20 perc, szinten tartási idő: 40 perc, visszahűtési idő: 20 perc. A műszeres méréshez HORIBA JOBIN YVON ACTIVA-M ICP-OES spektrométert használtak. A plazma teljesítmény: 1000 W, porlasztási sebesség: 0.85 mL/min, porlasztógáz nyomás: 2.86 bar, plazmagáz sebesség: 13.18 L/min, burkológáz sebesség: 0.83 L/min. A méréshez MERCK CertiPUR ICP multielit 1.11355.0100 oldatot használtak. A mért értékeket vakpróbával korrigálták, és re-kalibrációval ellenőrzésre kerültek. A mérés 105°C-on szárított, légszáraz mintából történt.

Az eredmények kiértékelése Microsoft Excel táblázatkezelő szoftver segítségével, valamint GraphPad InStat programmal történt.

EREDMÉNYEK

Vizsgálataink során Ca-ból a 2. és 8. számú kancáknál találtuk a legmagasabb értéket (3. táblázat), Cu-ból az 1. és 2. számúnál. Fe-ből a 10. számú alpaka gyapjúja tartalmazta a legtöbbet, Zn esetén az 1. és 2. állaté. A legalacsonyabb értékeket a 9. számú kancánál mértük a B telepen minden ásványianyag tekintetében.

3. táblázat: Alpaka kancák gyapjójának ásványianyag tartalma (2014)

Table 3: Mineral content of wool of mare alpacas (2014)

	Kancák (2)						
Ásv.anyag (mg/kg) (1)	1	2	3	6	8	9	10
Ca	1234±6	2627±50	1446±14	1330±16	2627±65	607±9	2102±36
Cu	13,87±0	13,96±0,02	9,42±0,09	11,62±0,11	10,79±00	6,96±0,09	9,83±0,01
Fe	1457±4	3760±41	1456±21	3280±10	3606±53	718±1	5673±55
Zn	123,6±0,5	123,7±0,6	110,8±1,3	108,9±1,2	108,4±1,5	88,5±0,4	86,6±2,8

Mineral content (1) Mares (2)

Az A és B telepen is találhatóak voltak 2000 mg/kg feletti értékek Ca esetében. Cu-nél az A telepen két kancánál mértünk magasabb értéket a többi kancához képest. Fe

tekintetében a B telepen több magas érték volt található. Zn-ből a 9. számú kanca mellett a 10. számú is kisebb értékeket produkált a B telepen.

A csődöröknél az 5. számú állat minden értéke szignifikánsan alacsonyabb volt, mint a másik kettőé (4.táblázat), ezt a kora is okozhatta, mivel az egy idősebb állat volt, ami befolyásolhatta a takarmány felvételt. A 4. számú csődör Ca, Cu és Zn értékei voltak a legmagasabbak a csődörök közül. Fe tekintetében a 7. számú állat gyapjúja tartalmazta a legtöbbet, a legkevesebbet az 5. csődöré. Ez az állat hasonlóan alacsony értéket mutatott, mint a kancáknál a B telepről származó 9. egyed.

4. táblázat: Alpaka csődörök gyapjójának ásványianyag tartalma (2014)
Table 4: Mineral content of wool from alpaca stallions (2014)

Ásv.anyag (mg/kg) (1)	Csődörök (2)		
	4	5	7
Ca	2048±19	1222±43	1741±19
Cu	11,74±0,01	9,53±0,07	10,04±0,01
Fe	2729±29	774±3	2833±18
Zn	113,2±2,6	107,1±0,5	105,8±0,6

Mineral content (1) Males (2)

Az A telepen mértünk Ca-ból és Cu-ból a legkisebb és a legnagyobb értéket is (5. táblázat). Fe-ből a B telep csődöre nagyobb értéket mutatott, mint az A telep 4. számú csődöre. Csak a Zn esetén találtunk kisebb eltérést a két telep között. A két telep átlag értékeit tekintve, az A telepen Ca, Cu és Zn volt magasabb a B telephez képest. Míg Fe-ből a B telepen mértünk magasabb koncentrációt az A telephez képest. A két ivar átlagértékeit tekintve elmondhatjuk, hogy a gyapjú Ca- és a Fe-tartalma a kancák esetében kissé magasabb volt, mint a csődöröknél. Cu tekintetében közel azonos értéket kaptunk.

5. táblázat: A különböző ásványi anyagok átlagos értékei és szórása ivaronként és telepenként (mg/kg)

Table 5: Average values and standard deviation of different minerals by sex and farm (mg/kg)

Ásványi anyag (1)	Telep A	Telep B	P	Kanca (2)	Csödör (3)	P	Összesen
	n=5	n=5		n=7	n=3		n=10
Ca	1715,4±610,2	1681,4±766,9	N.S.	1710,4±763,0	1670,3±417,5	N.S.	1690,35
Cu	11,7±2,2	9,8±1,8	N.S.	10,9±2,5	10,4±1,2	N.S.	10,65
Fe	2035,2±1195,5	3222±1773,4	N.S.	2850±1731,2	2112±1159,9	N.S.	2481
Zn	115,7±7,6	99,6±11,1	*	107,2±14,9	108,6±4,0	N.S.	107,9

Mineral content (1) Females (2) Males (3)

A négy elem közül csak a Zn esetében kaptunk nagyobb értéket a csödörök esetében.

A 6. táblázat első oszlopa tartalmazza az általunk vizsgált alpakák gyapjójának átlagos ásványi anyag tartalmát. Az átlagértékeket tekintve Cu esetében szinte ugyanazt az értéket kaptuk, mint *Holasová et al.* (2017), míg Zn esetében az általunk kapott szám kisebb, mint az az említett irodalomban található. *Liu et al.* (1994) tevéknél kisebb, 3.5 mg/kg értéket mért Cu esetében. Általánosan megállapítható, hogy a vizsgálatba bevont alpakák gyapjója Zn-ben gazdagabb volt azon juhok gyapjójához képest, melyeket *Patkowska-Sokola et al.* (2009) vizsgált. Ca-ból az alpakák gyapjója kevesebbet tartalmazott, mint az általuk vizsgált lengyelországi, görögországi és szíriai juhok gyapjója. Ugyanakkor Fe-ből az alpakák gyapjója átlagosan 2481 mg/kg-ot tartalmazott, míg a *Patkowska-Sokola et al.* (2009) által vizsgált juhoké Lengyelországban 22.03 mg/kg-ot. A legnagyobb értéket Szíriában mérték (73.62 mg/kg), de az alpakák mért eredményeitől ez is messze elmarad. *Isamov et al.* (2011) 7.37 és 25.38 mg/kg-ot talált kecskeszőr esetében. Az általunk kapott eredmények Cu tekintetében hasonlóak, mint a külföldi adatok. A Zn esetében a hazai adatok elmaradnak a Lengyelországban mért adatoktól. Más kérdéssel összehasonlítva, az alpakák gyapjója szignifikánsan több Fe-t tartalmaz. A Fe mennyisége azzal is összefüggésben állhat, hogy az alpakák eredetileg az Andok ritkább levegőjű magashegyi, fennsíki területein élnek, és a megfelelő oxigén felvételhez szükséges a nagyobb mennyiségű Fe. *Reynafarje et al.* (1968) is arra a megállapításra jutott, hogy az alpakák több Fe-t használnak fel, mint az ott élő emberek.

6. táblázat: Különböző állatok gyapjójának átlagos ásványianyag tartalma (mg/kg)
 Table 6: Average mineral content of wool from different animals (mg/kg)

Ásványi anyag (1)	Alpaka	Láma ₁	Alpaka ₁	Juh ₂
Ca	1690.35	na.	na.	1790.0-2900.0
Cu	10.65	9.70	10.22	5.30-10.30
Fe	2481	na.	na.	22.03-513.17
Zn	107.9	145.20	129.81	73.62-88.80

¹Holasová et al., 2017, ²Patkowska-Sokola et al., 2009 Mineral content (1)

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A két telep között nem tapasztaltunk nagy eltéréseket a mért paraméterekben, az alpakák inkább egyedenként mutattak különböző eredményeket. A hazai mérési adatok hiánypótlóak, további vizsgálatokkal kiegészítve segíthetnek az alpakák egészségének megőrzésében, a jó minőségű gyapjú előállításban, optimális takarmányozás kialakításában, mivel az ásványi anyagok felhalmozódnak a gyapjában, ezáltal jelzik az állat tápláltsági és egészségi állapotát. Javasolható az alpaka tartók számára, hogy nyírásakor vegyenek mintát a gyapjából és vizsgáltsák meg annak ásványi anyagtartalmát. Praktikus a mintákat nyírásakor begyűjteni, mert akkor a mintavétel nem okoz többlet stresszt az állatoknak.

MICROELEMENT CONTENT OF ALPACA WOOL SAMPLES IN TWO HUNGARIAN FARMS

ANDREA PRÁGAI - FERENC PAJOR - ÁKOS BODNÁR
 Hungarian University of Agriculture and Life Sciences
 Gödöllő

Our objective was to explore the mineral supply of the domestic alpaca population and to compare this data with international results in the case of alpacas and other ruminants. We sampled the wool at shear, so this does not add extra stress to the alpacas. We did not find much difference between mares and stallions in terms of Cu and Zn. In the case of Ca and Fe, we obtained higher values in mares. Fe has a remarkably high value compared to the data measured in sheep. We hypothesize that this is related to the fact that they need

more Fe in the Andean region to absorb oxygen. No significant difference was observed between the two farms alpacas. While compared to the alpacas studied in Poland, the value of Cu was similar, and they obtained a higher value of Zn compare to us.

Keywords: alpaca, wool, microelement, Hungary

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Munkánkat az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 számú pályázat támogatta.

IRODALOMJEGYZÉK

Bencze K (1990): What contribution can be made to biological monitoring by hair analysis? *Fresen J Anal Chem* 338: 58–61

Bhakat, C., Saini, N. and Pathak, K.M.L., (2009): Growth characteristics, economics and hair mineral status of camel calves reared in different systems of management. *Indian J. Anim. Sci.*, 79: 932-935.

Bokori, J., Gundel, J., Herold, I., Kakuk, T., Kovács, G., Mézes, M., Schmidt, J., Szigeti, G., Vincze, L. (2003): A takarmányozás alapjai, Mezőgazda Kiadó, 49.

Burns, R. H., Johnston, A., Hamilton, J. W., McColloch, R. J., Duncan, W. E., & Fisk, H. G. (1964). Minerals in domestic wools. *Journal of animal science*, 23(1), 5-11.

Chyla MA, Zyrnicki W (2000): Determination of metal concentrations in animal hair by the ICP method – comparison of various washing procedures. *Biol Trace Elem Res* 75: 187-194

Clauss M, Lendl Ch, Schramel P, Streich WJ (2004): Skin lesions in alpacas and llamas with low zinc and copper status – a preliminary report. *Vet J* 167: 302-305

Faraz, A. (2020). Blood biochemical and hair mineral profile of camel calves reared under different management systems. *Pakistan Journal of Zoology*, 2020b,(Online First Articles). <http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/20190430140425>.

Gabryszuk M, Klewicz J, Czauderna R, Baranowski A, Kowalczyk J (2000) The content of mineral compounds in sheep wool depending on the breed and physiological state. *Rocz Nauk Zoot Suppl* 5, 147-51 [in Polish]

Ghorbani A, Mohit A, Kuhi HD (2015): Effects of dietary mineral intake on hair and serum mineral contents of horses. *J Equine Vet Sci* 35: 295-300

- Healy, W. B., & Zielemann, A. M. (1966). Macro-and micro-element content of new zealand wool. *New Zealand journal of agricultural research*, 9(4), 1073-1078.
- Herdt TH, Hoff B (2011): The use of blood analysis to evaluate trace mineral status in ruminant livestock. *The Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 27, 255–283.
- Holasová, M., Pechová, A., & Husáková, T. (2017). The evaluation of Cu, Zn, Mn, and Se concentrations in the hair of South American camelids. *Acta Veterinaria Brno*, 86(2), 141-149.
- Hostetler CE, Kincaid RL, Mirando MA (2003): The role of essential trace elements in embryonic and fetal development in livestock. *Veterinary Journal* 166, 125–139.
- Isamov, N. N., Gubareva, O. S., Sidorova, E. V., & Isakova, V. N. (2014). Distribution of microelements in goats. *Russian agricultural sciences*, 40(1), 67-69.
- Krośnicka-Bombala R. (1996) Influence of a season of the year and a colour on pigment and microelements content in a coat of differently coloured sheep and goats. *Zesz Nauk Przeg Hod PTZ* 23, 117-32 [in Polish]
- Liu Z-P, Ma Z, Zhang Y-J (1994): Studies on the relationship between sway disease of Bactrian camels and copper status in Gansu province. *Vet Res Commun* 18: 251-260
- McDowell LR (ed.) (2003): *Minerals in Animal and Human Nutrition*. 2nd edn. Elsevier Science, Amsterdam. xvi + 644 pp.
- Moritz A (ed.) (2014): *Clinical Laboratory Diagnostics in Veterinary Medicine* (in German). 7th edn. Schattauer, Stuttgart. xxii + 934 pp
- Patkowska-Sokoła, B. O. Ž. E. N. A., Dobrzański, Z. B. I. G. N. I. E. W., Osman, K. H. A. L. I. L., Bodkowski, R., & Zygadlik, K. (2009): The content of chosen chemical elements in wool of sheep of different origins and breeds. *Archives Animal Breeding*, 52(4), 410-418.
- Pavlata L, Chomat M, Pechova A, Misurova L, Dvorak R (2011): Impact of long-term supplementation of zinc and selenium on their content in blood and hair in goats. *Veterinarni Medicina* 56, 63–74.
- Poppenga RH, Ramsey J, Gonzales BJ, Johnson CK (2012): Reference intervals for mineral concentrations in whole blood and serum of bighorn sheep (*Ovis canadensis*) in California. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation* 24, 531–538.

Ramirez-Perez AH, Buntinx SE, Rosiles R (2000): Effect of breed and age on voluntary intake and the micromineral status of non-pregnant sheep. Micromineral status. Small Rumin Res 37, 231-42

Reynafarje, C., Faura, J., Paredes, A., & Villavicencio, D. (1968): Erythrokinetics in high-altitude-adapted animals (llama, alpaca, and vicuña). *Journal of Applied Physiology*, 24(1), 93-97.

Szigeti, E., Kátai, J., Komlósi, I., Oláh, J., & Szabó, C. (2016): The effect of genotype and the location of sampling on the mineral content of wool. *Acta Agraria Debreceniensis*, (69), 157-160.

Żarski TP (1988): A recognition and an assessment of different methods of prevention and liquidation of mineral deficiencies in domestic and wild ruminants. SGGW-AR, Warszawa [in Polish]

A szerzők levélcíme –Address of the authors:

Prágai Andrea
Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal
1024 Budapest Keleti K.u.24.
pragai.andrea@gmail.com

Pajor Ferenc
Magyar Agrár-és Élettudományi Egyetem
2103 Gödöllő, Páter Károly u. 1.
Pajor.Ferenc@uni-mate.hu

Bodnár Ákos
Magyar Agrár-és Élettudományi Egyetem
2103 Gödöllő, Páter Károly u. 1.
Bodnar.Akos@uni-mate.hu



A CINK SZEREPE A TALAJBAN ÉS A NÖVÉNYEKBEN

TÓTH ENDRE ANDOR – KALOCSAI RENÁTÓ

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdasági- és Élelmiszertudományi Kar, Víz- és
Környezettudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

ÖSSZEFOGLALÁS

A mezőgazdasági termelés elsődleges célja, hogy az adott területről minél nagyobb mennyiségű és jobb minőségű terményt tudjunk betakarítani. Nagy mennyiségű és kielégítő minőségű termést csak szakszerű növénytáplálás útján lehet elérni, amelynek leggyakoribb módszere a műtrágyázás. A három legfontosabb makroelem (N, P, K) mellett figyelmet kell fordítanunk a mikroelemek ellátottságára is, hiszen a megfelelő növényi fejlődéshez nem elég pusztán az említett három makroelem pótlása, az egyéb makro- és mikroelemeket, valamint azok megfelelő arányát is biztosítani kell. Sok helyen még mindig nem pótolják az esszenciális mikroelemeket, pedig mikroelem-hiányos talajon termesztett növények esetén termésátlag-csökkenéssel és minőség-romlással kell számolnunk.

A dolgozat áttekintést nyújt a növények szempontjából nélkülözhetetlen mikroelemek közül a cink növényi életfolyamatokban betöltött szerepéről, a növényekben és a talajban történő előfordulásáról, valamint a hiánytüneteiről. Mindezeket túl kitérünk arra is, hogy az elmúlt évek során milyen nemzetközi kutatások és kísérletek láttak napvilágot az adott mikroelem kapcsán, betekintést nyerve a mikroelem-kutatások irányába.

Kulcsszavak: cink, mikroelem, tápanyag utánpótlás, cink hiány

A CINK

A cink egyike a legnagyobb mennyiségben használt fémeknek. Ötvözetei közül a sárgarezet már a történelem előtti időkben ismerték, magát a cinket azonban csak 1300 körül állították elő Európában. A fémcink kissé kékes árnyalatú, fémfényű elem. Közönséges hőmérsékleten rideg, 150-200 °C közt kovácsolható. Jól vezeti az elektromosságot és a hőt. Szilárdsága csekély. Száraz levegőn nem oxidálódik, magas hőmérsékleten kékeszöld lánggal ég el cink-oxiddá. A híg savak oldják; a tiszta cink lassan oldódik, a szennyeződések növelik a reakciósebességet. Gyakorlatilag mindig két vegyértékű, azonban vannak atomrácsos vegyületei is: oxidja, szulfidja, nitridje, stb.

A cink a periódusos rendszer 30. eleme (jele: Zn). Relatív atomtömege 65,38; fajsúlya 7,13 g/ml; olvadáspontja 419 °C; forráspontja 906 °C.

Használják tetőfedésre, esőcsatornák, párkányok, vödörök készítésére. Szárazelemek gyártásához tiszta cinkre van szükség. A cink védi a vas felületét, mert maga megy az oldatba a vas helyett. A cinkport sötét festékként is használják (Náray-Szabó, 1973).

CINK A TALAJBAN

A cink talajbeli mennyisége 0,0001%-0,03% (Stefanovits, 1975). A magyarországi talajok összes cinktartalmát tekintve a homoktalajokban kevesebb (30 mgkg⁻¹), az erdőtalajokban közepes (70–115 mgkg⁻¹), míg a csernozjom talajokban több (120–150 mgkg⁻¹) cink található (Mengel, 1976). A talajok átlagos cinktartalma 50 mgkg⁻¹ (Pais, 1980). A talaj cinktartalmát a talajképző kőzet ásványainak cinktartalma határozza meg. A cink az agyagásványok kristályrácsaiban fordul elő, ezen kívül pedig Zn²⁺, ZnOH⁺ és ZnCl⁺ alakban kötődik a talaj ásványi részeihez (Mengel, 1976). A cink az agyagásványok és a kalcium-karbonát felületén kicsapódik. Amennyiben a talaj sok szén-savas meszet és agyagot tartalmaz, a cink mozgékonyasága jelentősen csökken (Aubert és Pinta, 1977).

A talajban kétértékű formában található, koncentrációja a talajoldatban alacsony, komplexképzési hajlama hasonló a rézéhez. Előfordul a biotit, az augit és a különböző csillámok kristályrácsaiban is. Az így adszorbeált Zn²⁺-ionok csak részben cserélhetők ki. Továbbá cinksók is előfordulhatnak a talajban, amelyek oldhatósága változó. A cink mozgékonyasága a talajban csekély, azonban a savanyúság fokozódásával növekszik. A

kolloidokban gazdag talajban általában több a cink, mint a homoktalajokban (Loch és Nosticzius, 2004).

A szfalerit (ZnS) a legfontosabb cink-ásvány. A cinkit (ZnO) gyakran mangántartalmú, ekkor vörös színű. Más cinkásványok a smithsonit (ZnCO_3) és a hercimorfit [$\text{Zn}_3\text{SiO}_7 \cdot \text{Zn}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$], valamint a willemit (Zn_2SiO_4) (Náray-Szabó, 1973). Az elem kis mennyiségben fordul elő a talajban, a különböző agyagásványok, mint a biotit $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$, az aguit $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$, az amfibol $\text{CaMg}_3\text{Si}_4\text{O}_{12}$ kristályrácsaiban, illetve az alumínium-, és vas-oxidokban (Mauritz és Vendl, 1942; Kirkby, 2005 cit. Péntek és Fazekas 2016). A legtöbb egyszerű vegyület, például a ZnO (cinkit), a ZnCO_3 (smithsonit) stb., amelyek a talajban lévő anionokkal képződnek, túlságosan oldékonyak ahhoz, hogy a talajban megmaradjanak. Reduktív körülmények között, ahol H_2S képződik, ZnS (szfalerit) képződhet, de normál oxidációs körülmények között az S^{2-} túl alacsony ahhoz, hogy ez az ásvány stabil legyen.

A világ gabonatermesztésre alkalmas talajainak közel 50%-a minősül potenciálisan cinkhiányosnak (Cakmak, 2012). Kádár (2005) szerint a magyarországi talajok 46%-a cinkkel gyengén ellátott. Bhupinder et al. (2005) vizsgálatai alapján a laboratóriumban alkalmazott kivonási módszertől függően cinkhiányos talajról 0,6-2,0 mgkg^{-1} cinktartalom esetén van szó.

A növények számára hozzáférhető és felvehető cink formák ezeknél az értékeknél jóval alacsonyabb, és több tényező befolyása alatt áll (pl.: a talaj kémhatása, mésztartalma, a foszfor tartalma) (Kalocsai et al., 2004). Viets (1962) szerint a mikroelemek a talajban 5 különböző formában lehetnek jelen: vízoldható; kicserélhető; adszorbeált, komplex vagy kelát formában; másodlagos ásványokba zárva és oldhatatlan fém-oxiddal kötésben; elsődlegesen ásványok rácsaiba zárva. A különböző formában levő cinket a növények különböző hajlamossággal képesek felvenni. Az talajban jelen levő formák arányát nagyban befolyásolja a talaj pH-tartalma, a cink és más elemek (elsősorban vas és mangán) koncentrációja (Mandal et al., 1993).

A fő talajtényezők, amelyek befolyásolják a növény Zn-hozzáférhetőségét az alacsony teljes Zn-tartalom, a magas pH, a magas CaCO_3 és szervesanyag-tartalom, valamint a Na, Ca, Mg, hidrogén-karbonát és foszfát magas koncentrációja a talajoldatban vagy labilis formában (Alloway, 2009).

Cink-hiány figyelhető meg hideg és nedves talaj esetében is, ha a hőmérséklet alacsony. Az ilyen hiánytünetek gyakran súlyosak hideg, nedves tavaszokon, azonban eltűnnek a

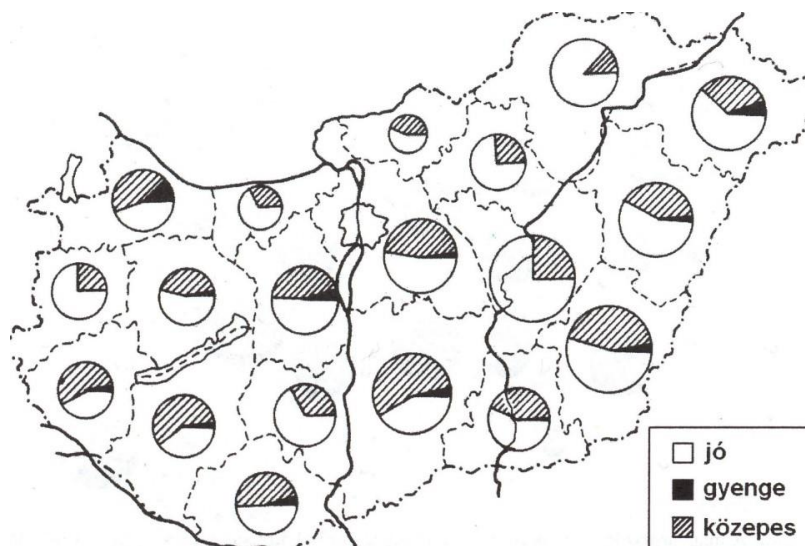
nyár elején. Az alacsony hőmérséklet hatására csökken a szervesanyagok mikrobiológiai lebomlása, ami amúgy cinket szabadítana fel a növény számára. A magas hőmérséklet serkenti a talajban található cink talajkolloidból a növényi gyökerekbe történő diffúzióját és növeli a szerves anyagból történő mineralizációját (Marschner, 1995).

A legtöbb mediterrán klímájú országban előfordul cink hiány, elsősorban lúgos, meszes talajokon. Közép-Anatoliában (Törökország), ahol a talajok 65%-a magas CaCO_3 (> 20%) tartalmú, és a pH 7,5 és 8,1 között van, a növények által felvehető Zn mennyisége rendkívül alacsony ($0,23 \text{ mg kg}^{-1}$ DTPA-Zn), pedig a talaj teljes Zn tartalma relatív magas ($39,6\text{-}62,4 \text{ mg kg}^{-1}$). A cink alacsony felvehetősége ezeken a talajokon azzal magyarázható, hogy a CaCO_3 erősen megkötö a Zn-t (Alloway, 2008 cit. Noulas et al., 2018).

A cink felvételi és mozgékonyági optimuma 5,8-6,5 közötti pH tartományban van (Füleky, 1999). Az elem felvehetőségét, mobilitását nagyban befolyásolja az elem ionformája, oxidációs foka, kémiai természete, közeg tulajdonsága, a pH, redoxviszonyok, kelátképzők stb.

1972-ben az Amerikai Egyesült Államokban a cink hiány volt az egyik leggyakoribb mikroelem hiány. (Lindsay, 1972). 1990-ben, a világ 190 pontjáról vett talajmintából készített felmérés alapján 49% cink hiányosnak bizonyult (Sillanpää, 1990).

A FAO-vizsgálatok alapján) a hazai talajok mikroelemekben gyengén ellátottak. KCl+EDTA kivonószerezrel meghatározott vizsgálatok alapján a cink mennyiségét vizsgálva a hiányos területek 18%-ban kevesebb, mint 1 mg kg^{-1} , 47%-ban pedig $1\text{-}2,5 \text{ mg kg}^{-1}$ cinket tartalmaznak. Összességében az országosan vizsgált talajok 46%-ban cinkben gyengén ellátottnak minősül (Péntek és Fazekas, 2016). Hazánk talajainak cinkellátottságát megyékre lebontva az 1. ábra mutatja be. Láthatjuk, hogy inkább az ország keleti/észak-keleti része kedvező cink-ellátottságú, míg a legkevésbé ellátott területek az ország dél-nyugati részén, valamint az észak-nyugati-dél-keleti sáv mentén helyezkednek el. A cinkellátottság területi megoszlása főként a talajok pH-tartalmával és mészellátottságával magyarázható (Tóth et al., 2015). Különös figyelmet érdemel a Győr-Moson-Sopron megyei régió, ahol a legnagyobb a gyenge ellátottságú cink talajok aránya.



1. ábra: Hazánk talajainak cinkellátottsága (Kalocsai 2006)

Figure 1: Zinc supply in hungarian soil

CINK A NÖVÉNYEKBEN

A növények a cinket Zn^{2+} -ion vagy természetes, illetve mesterséges komplex vegyület formájában veszik fel. A növényi szövetekben a szokásos koncentráció 25 és 150 $mg\ kg^{-1}$ sz.a. között van, hiánytünetek a levelek szárazanyagra vonatkoztatott 20 $mg\ kg^{-1}$ alatti, toxikus tünetek pedig 400 $mg\ kg^{-1}$ feletti tartalma esetén jelentkeznek. (Füleky, 1999). Ha nem áll elegendő cink rendelkezésre, akkor a növény fejlődése lelassul, a szervei károsodnak és egyértelmű hiánytünetek lépnek fel (Kramer és Clemens, 2005). A cink-hiány tünetei a következők (Scalife és Turner, 1983; Marchner, 1995; Sharma, 2006 cit. Broadley et al., 2007): érközi klorózis, elsősorban fiatal leveleken; vöröses-barnás vagy bronz minták megjelenése a leveleken; aprólevelűség; a fellépő auxinhiány végett törpe szártágúság és rozettásodás; visszafogott növekedés, lerövidült ízközök; illetve súlyos cink-hiány esetében gyökércsúcs-elhalás („dieback”).

A cink hiány fő okai a növényekben legtöbbször a talajhoz köthetőek: alacsony cink-hozzáférés, alacsony összes cink tartalom (homokos, szódás vagy meszes talajokon fordul elő), alacsony szervesanyag tartalom, a gyökerek gátolt felvétele magas talaj vízszint

vagy klimatikus faktorok hatására (Alloway, 2008; Alloway, 2009). Egyes vizsgálati eredmények arra utalnak, hogy a foszfát befolyásolja a növényi szövetekben a cink fiziológiai aktivitását, így a cink és a foszfát között antagonista hatás feltételezhető (Füleky, 1999).

A cink biológiai szerepére először *Raulin* mutatott rá 1869-ben. Megfigyelte, hogy a fekete penész (*Aspergillus Niger*) fejlődése cink-hiány esetén megállt. A cink esszenciális mivoltát kukoricában először *Mazé* bizonyította 1915-ben, nem sokkal később, 1926-ban pedig *Sommer és Lipman* mutatta ki árpában és napraforgóban. Annak ellenére, hogy a cink fontosságát már a 20. század elején kutatták, a cink konkrét szerepét a növényekben csak az 1960-as években sikerült kimutatni (*Brown et al.*, 1993).

A cink szerepe elsősorban enzimaktivátor funkciójában és a metalloenzim komplexek kialakításában mutatkozik meg. Több mint 200 enzimen kimutattak már a cink szerepét, és mind a hat enzimcsoport (oxidoreduktázok, transzferázok, hidrolázok, liázok, izomerázok, ligázok) valamelyik enzimjében fellelhető (*Rashid et al.*, 1994 cit. *Péntek és Fazekas*, 2016).

Aktívan részt vesz a fehérje-anyagcserében és a növények növekedésszabályozásában. (*Kalocsai et al.*, 2005). A fehérjeszintézisen túl a szénhidrát-anyagcsere egyes enzimjeinek működéséhez is elengedhetetlen (*Láng*, 2002). A cink specifikus enzimaktivátorként különböző dehidratázok és peptidázok működésében tölt be fontos szerepet. A peptidázok aktiválása révén a nitrogén-anyagcserére is hatással van (*Alloway*, 2008).

A mangánnal kölcsönhatásban az auxintermelés serkentése révén a növényi növekedés szabályzásában van nélkülözhetetlen szerepe. A cink katalizálja a B-indolil-ecetsav prekursorát, a triptofán szintézisét, így serkenti az auxin képződését. A két elem így együttesen szabályozza a növények növekedését: a cink közvetve az auxin képződését segíti elő, a mangán pedig gátolja az auxin felesleg kialakulását (*Várallyay et al.*, 2009).

- A cink hatásának néhány megnyilvánulási formája:
- Cink hiány esetén a felső levelek érközi klorózisa, a levéllemez teljes kifehéredése tapasztalható. A levelek aprók maradnak, az auxinhiány miatt rozettásodás, torzulás, törpe szártágúság figyelhető meg.
- A kukorica növekedése visszafogottá válik cink-hiány esetén. Az állomány nem éri el a rá jellemző növénymagasságot. Az idősebb leveleken mindkét oldalon fehéres-halványárgás klorotikus csíkok indulnak.

- Bár a cink-felesleg hazánkban csak ritkán fordul elő, tünetei hasonlóak a vas- és mangánhiányhoz. A növények a növekedésben visszamaradnak, majd elhalnak. Az árpa különösen érzékeny a cink többletre.
- A gabonafélék kevésbé, a burgonya, paradicsom, cukorrépa, lucerna közepesen, a kukorica, len, bab, komló pedig kimondottan érzékeny a cink hiányra. (Kalocsai *et al.*, 2006).

A fiatal levelekben a cink gyorsabban transzportálódik, mint az idősebb levelekben. A fiatal levelek extraradikális cinkfelvétele jobb, mint az idősebb leveleké (Wallihan és Heyman-Herschberg, 1956).

A cink és a foszfor tápelemek interakciójával már számos kutatás foglalkozott (Lu *et al.* 1998, Singh *et al.*, 1988, Gianquinto *et al.*, 2000). A magas vagy túlzott foszfor-ellátottság cink-hiányt képes létrehozni, különösen meszes talajokon, ahol amúgy is korlátozottabb a Zn oldékonysága (Csathó *et al.*, 2019).

Ragab (1980) kukoricán végzett kísérletei alapján megállapította, hogy P-kezelések hatására csökkent a hajtások Zn-koncentrációja. Elek és Kádár (2003) szabadföldi, őszi búzán végzett kísérleteik eredményeképp arra a következtetésre jutottak, hogy nagy adagú P-műtrágyázás akár 40%-kal is csökkentheti a növényi részek cinktartalmát. Hasonló antagonizmus áll fenn a vas és a cink között (Zare *et al.*, 2009). A talajban lévő cinktöbblet zavarja a vas felvételét, azonban a vastöbblet nem okoz gondot a cink felvételben (Lee *et al.*, 1969)

A CINK UTÁNPÓTLÁSA

A cink pótlása két módon lehetséges: talajon és lombozaton keresztül. Míg a talajon keresztüli tápanyagpótlást főként a talajvizsgálati eredmények határozzák meg, addig a lombtrágyázás szükségességére sokszor szakmai szemrevételezkor derül fény a hiánytünetek által.

I. táblázat: Gyakori cink-források (*Mortvedt*, 1993)

Table 1: Commonly used Zn sources

Zn formája (1)	Képlet (2)	Cinktartalom (%) (3)
Cink-szulfát-monohidrát (4)	$ZnSO_4 \cdot H_2O$	36
Cink-szulfát-heptahidrát (5)	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	22
Cink-oxiszulfát (6)	$xZnSO_4 \cdot xZnO$	20-50
Cink-oxid (7)	ZnO	50-80
Cink-karbonát (8)	$ZnCO_3$	50-56
Cink-klorid (9)	$ZnCl_2$	50
Cink-nitrát (10)	$Zn(NO_3)_2$	23
Kelátok (11)	$Na_2ZnEDTA$	8-14
	$NaZnHEDTA$	6-10
	$NaZnNTA$	9-13
	$Zn_3(C_6H_5O_7)_2 \cdot 2H_2O$	10-18
Természetes organikus komplexek (12)	-	3-12

(1) Zn source (2) Formula (3) Percent Zn % (4) Zinc sulfate monohydrate (5) Zinc sulfate heptahydrate (6) Zinc oxysulfate (7) Zinc oxide (8) Zinc carbonate (9) Zinc nitrate (10) Chelates (11) Natural organic complexes

A talajon keresztül végzett cinkpótlás általános adagjai 3-10 kg ha⁻¹ nagyságúak, súlyos cinkhiány esetében azonban 30-50 kg ha⁻¹ cink hatóanyag kijuttatása is indokolt lehet (*Kalocsai*, 2005). A tápelem pótlására háromféle vegyületkört alkalmazhatunk (1. táblázat):

- szervesetlen cink sókat
- cink kelátokat
- természetes szerves komplexeket (*Péntek és Fazekas*, 2016).

A szervesetlen cinktartalmú vegyületek közé tartozik a ZnO , $ZnCO_3$, $ZnSO_4$, $Zn(NO_3)_2$ and $ZnCl_2$. Valószínűleg a $ZnSO_4$ a legelterjedtebb cinktartalmú műtrágya, melyet kristályos és granulált formában is árusítanak. A ZnO -t finom por és granulált alakban is lehet kapni, azonban a granulált formában kapható ZnO nehezen oldódik vízben (*Mortvedt*, 1993).

$ZnEDTA$ a legelterjedtebben használt cink-kelát. Stabilitási állandója 17.5, ami jóval magasabb, mint a $CaEDTA$ állandója (11.6) (*Norvell*, 1991).

A talajon keresztül adagolt cinktrágyákat az őszi alaptrágyázással egyidőben vagy vetéskor, startertrágyaként érdemes a talajba juttatni. Utóhatásuk néhány (2-3) évre tehető (Kalocsai 2004).

A lombtrágyázás jelentőségét az adja, hogy a gyökéren keresztüli tápanyagfelvétel mellett a fiatal növényi részek, levelek tápelem-felvétele is jelentős. A növény felületére juttatott tápanyagok közvetlenül és rövid időn belül felszívódnak, hatásuk nem csapadékfüggő. Olyan esetekben javasolt az alkalmazása, amikor gyors beavatkozásra van szükség az állomány minőség megőrzésének érdekében. A növények levélzetén keresztül történő tápanyagpótlása hatékony, viszont csak kis mennyiségre korlátozódik (Kalocsai 2010).

Potarzycki és Grzebisz (2009) Lengyelországban beállított három éves kísérletükben megállapították, hogy a ZnO-ZnSO₄ levéltrágya használata két évben is szignifikánsan növelte a kukorica terméseredményét.

Shahab et al. (2016) szintén kukorica növényen vizsgálták a cink-szulfát hatását talajon keresztül, illetve levéltrágya formájában. Megállapították, hogy a cink kombinált (talajon és levéltrágyaként) alkalmazásával jobb eredményt értek el, mint azok egyedüli használatával. Az adagolt 5 kg ha⁻¹ talajtrágya és 0.5 kg ha⁻¹ levéltrágya dózissal szignifikáns növekedést értek el a növény hozamát, csóhosszát, csőtömegét, és ezermagtömegét tekintve.

Eteng et al. (2014) Nigériában kukorica növényen beállított kísérletben azt tapasztalták, hogy a talajba történő cink utánpótlás szignifikánsan növelte a kukorica szárazanyag-tartalmát és szemtermését. A maximum szemtermést 8 kg ha⁻¹ Zn adag esetén kapták.

Liu et al. (2016) Kínában vizsgálták a cinkkel történő trágyázás hatását kukorica növényen. Kísérletükben a 30 kg ha⁻¹ ZnSO₄·7H₂O cink dózis hatására nőtt a levelek klorofill tartalma, hatékonyabb lett a növény fotoszintézise és nőtt a növény hozama.

Shaver et al. (2007) különböző vízdoldhatóságú cink műtrágya hatékonyságát hasonlították össze kukorica növényen egy üvegházás kísérlet során. Eredményeik alapján a közepes és alacsony vízdoldhatóságú cink tartalmú műtrágyák nem fedezték a növény cink-igényét.

Liu et al. (2020) talaj útján történő cink utánpótlás hatását vizsgálták kukorica növényen. Megállapították, hogy a kezelések hatására 4,2-16,7%-al nőtt a kukorica hozama, elsősorban a több kukoricaszemnek köszönhetően. Szintén nőtt a pollenek életképessége címerhányás idején.

Vazin (2012) a szárazság stressz és a cink lombtrágyázás hatását vizsgálta kukorica növényen. A két éves kísérlet során megállapította, hogy a szárazság stressz csökkentette az ezermagtömeget és a csöveken lévő szemek számát, míg a cink lombtrágyázás 27,3g-ról 31,3g-ra növelte az ezermagtömeget, 710-ről 770-re növelte az egy csövön lévő szemek számát. Eredményei alapján a cinkkel történő lombtrágyázás kedvezően javította a szárazság stressz okozta termés kiesést.

Aboyeji *et al.* (2020) földimogyorón vizsgálták a cink és foszfor-tartalmú műtrágyák interakciójának hatását. Eredményeik alapján $8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Zn}$ és $120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}$ kijuttatásának szinergista hatása volt a növény növekedési paramétereire, azonban antagonista hatása volt a hozamra.

Khan *et al.* (2007) cserépedényes kísérletükben talajon keresztül kijuttatott cink tartalmú műtrágya hatását vizsgálták rizs növényen. Megállapították, hogy a növekvő cink dózisok hatására szignifikánsan befolyásolták a növény hozamát. A rizs szempontjából optimális dózist $10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Zn}$ dózisban határozták meg.

Mohsin *et al.* (2014) két éves kísérletükben kukorica növényen vizsgálták a mag cinkkel történő bevonásának és a növény cinkkel való lombtrágyázásának hatását. Vizsgálataik alapján a kombinált kezelések (2%-os mag-csávázás és 2%-os levéltrágyázás) során szignifikánsan nőtt többek között a növény magassága, csőhossza, cső átmérője, ezermagtömege és a szemtermése.

Cink tartalmú levéltrágyázással Zong *et al.* (2011) indiai köles szemtermését és beltartalmi tulajdonságait növelték. Hasonló eredményt értek el Peck *et al.* 2008-ban, akik a búza fehérje-összetételét befolyásolták cink levéltrágyázással.

Orabi *et al.*, (1981) cink és foszfor talajtrágyázással 20%-kal növelte a kukorica szemtermését.

Safa *et al.* (2020) kálium-nitrát (KNO_3) és cink-szulfát (ZnSO_4) levéltrágyázás hatását vizsgálták gránátalma növényen. KNO_3 1%-os, ZnSO_4 0,5%-os koncentrációjával érték el a legnagyobb növekedés a növény kvalitatív és kvantitatív tulajdonságaiban.

Hazánkban Rózsa *et al.* (2011) őszi búzán vizsgálta bázisos cink-karbonát komplex hatását. Kísérleteik bizonyították, hogy a cink mind az őszi búza hozamát, mind a minőségi paramétereit pozitívan befolyásolja.

Schmidt *et al.* (2008) burgonyán végzett cink-amin komplex hatóanyagú kísérletei hatására a burgonya hozama, szárazanyag-tartalma és keményítőtartalma szignifikáns emelkedést eredményezett.

Schmidt et al. (2003) 3 éves (1998-2000) kísérletet folytattak rézben és cinkben hiányos meszes öntéstalajokon, ahol réz és cink amin-komplexeit használták különböző dózisokban (0,1; 0,3; 0,5; 1; 2) UAN oldattal együtt kijuttatva. A cink-trágyázást tekintve a legnagyobb hozamnövekedést a 0,3 kg ha⁻¹-os cink adaggal kapták.

Giczi et al. (2005) burgonya tesztnövényen végeztek kisparcellás talajkezelési kísérleteket bázisos cink-karbonát és K-tartalmú napraforgóhéj hamu felhasználásával.

Szakál és Szalka (2008) szintén burgonya tesztnövényen végeztek kisparcellás kísérletet, cink-tetramin-hidroxid kijuttatásával. A kezelések hatására növekedett a hozam, a szárazanyag-tartalom és a keményítőtartalom is.

Forró-Rózsa et al. (2017) hulladékból előállított bázisos-cink-karbonát hatását vizsgálták őszi búza növényen. A kezelések szignifikánsan növelték az őszi búza hozamát, sikértartalmát, nyersfehérje tartalmát és a Zeleny-számát. Az optimális dózist 1,4-1,6 kg ha⁻¹-os cink adagban állapították meg.

A termőhelyek alacsony Zn-tartalma, valamint a talajban lévő Zn alacsony felvehetősége sokszor komoly gondot okoz a szántóföldi növénytermesztésben, melynek eredményeként termesztett növényeink hozamcsökkenésével és minőségbeli romlásával kell számolnunk. A cink utánpótlásával kapcsolatos kísérletek alapján megállapítható, hogy cink-hiányos termőhelyeken a cink visszapótlásával visszajára fordíthatjuk a mikroelem hiánya okozta mennyiségi és minőségi paraméterek csökkenését.

THE ROLE OF ZINC IN PLANTS AND IN THE SOIL

TÓTH ENDRE ANDOR – KALOCSAI RENÁTÓ

Széchenyi István University

Faculty of Agricultural and Food sciences

SUMMARY

The primary goal of the agricultural production is to produce more and better quality product from a given area. Adequate yield and quality quality can only be achieved with proper plant nutrition, which is mostly done with fertilizers. However, beside the three main macronutrients (N, P, K) attention has to be paid to the micronutrients too: we have to ensure the required amount and the appropriate ratio of essential micronutrients to

support the growth of the plant. Plants grown in micronutrient-deficient soil usually yield less and produce worse quality crops.

This article covers a review of the literature concerning zinc as an essential element for plants, its occurrence in plants and in soil, and its deficiency symptoms. We also summarize the results of the recent years of zinc research.

Keywords: zinc, micronutrient, nutrient supply, zinc deficiency

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 számú „Innovatív tudományos műhelyek a hazai agrár felsőoktatásban” című projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

IRODALOM

Aboyaji, C. M., Dunsin, O., Adekiya, A. O., Suleiman, K. O., Chinedum, C., Okunlola, F. O., Joseph, A., Ejue, S. W., Adesola, O. O., Olofintoye, T. A. J., Owolabi, I. O. (2020): Synergistic and antagonistic effects of soil applied P and Zn fertilizers on the performance, minerals and heavy metal composition of groundnut. Open Agriculture 5:1-9.

Alloway, B. J. (2008): Zinc in soils and crop nutrition. Second edition, published by IZA and IFA Brussels, Belgium and Paris, France.

Alloway, B. J. (2009): Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. Environmental Geochemistry & Health. 31, 537-548.

Aubert H., Pinta, M. (1977): Trace elements in soils: developments in soil science 7. Amsterdam: Elsevier.

Broadley, M. R., White, P. J., Hammond, J. P., Zelko, I., Lux, A. (2007): Zinc in plants. New Phytol. 173:677–702

Brown, P. H., Cakmak, I., Zhang, Q. (1993): Form and function of zinc in plants. Chap. 7, In A.D. Robson (Ed). pp 90-106. Zinc in Soils and Plants, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

- Cakmak I.* (2008): Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*. **302**:1–17.
- Cakmak, I.* (2012): Zinc in fertilizers. International Zinc Association. Brochure.
- Csathó P., Árendás T., Szabó A., Sándor R., Ragályi P., Pokovai K., Tóth Z., Kremper R.* (2019): Phosphorus-induced zinc deficiency in maize (*Zea mays L.*) on a calcareous chernozem soil. *Agrokémia és Talajtan*, **68**, Supplement, 40-52.
- Elek É., Kádár I.* (2003): A foszforműtrágyázás hatása a makro- és mikro tápanyagok felvételére. A mezőgazdaság kemizálása. VI. Ankét, Keszthely. pp. 89-93
- Eteng, E. U., Asawalam, D. O., Ano, A. O.* (2014): Effect of Cu and Zn on maize (*Zea mays L.*) yield and nutrient uptake in coastal plain sand derived soils of southeastern Nigeria. *Open Journal of Soil Science*, Vol. 4, No.7, pp. 235-245.
- Forró-Rózsa E., Szakál P., Csatai R.* (2017): The qualitative and quantitative impact of copper and zinc applications on winter wheat cultivation. *African Journal of Plant Science*, **11**, 351-361.
- Fülek Gy.* (1999): Tápanyag-gazdálkodás. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Gianquinto G., Abu-Rayyan, A., Tola, L. D., Piccotino, D., Pezzarossa, B.* (2000): Interaction effects of phosphorus and zinc on photosynthesis, growth and yield of dwarf bean grown in two environments. *Plant and Soil* **220**: 219-228
- Giczi Zs., Szakál P., Schmidt R., Kalocsai R., Barkóczi M.* (2005): Bázisos cinkkarbonát és napraforgóhamu talajkezelések hatása a burgonya (*Solanum tuberosum*) hozamára és minőségére. *Acta Agronomica Óváriensis*. **47**. (1.) pp. 153-158.
- Kalocsai R.* (2010): A levéltrágyázás szerepe a tápanyagellátásban. *Agro Napló*. 2010/02. pp. 75-76.
- Kalocsai R., Schmidt R., Szakál P.* (2004): A kukorica cinkhiányát kiváltó okok és gyógyítás lehetőségei. *Agro Napló, Országos Mezőgazdasági Szakfolyóirat*, VIII. évfolyam. **4**. pp. 35-35.
- Kalocsai R., Schmidt R., Szakál P., Giczi Zs.* (2005): A mikroelemek hatása az őszi búza minőségére. *Agro Napló IX. évf. 2005/10.* 35-38.p
- Kalocsai R., Schmidt R., Szakál P., Giczi Zs.* (2006): A talajvizsgálati eredmények értelmezése. *Agro Napló X. évf. 2006/09.* 35-38.p
- Kádár I.* (2005): Magyarország Zn- és Cu-ellátottságának jellemzése talaj- és növényvizsgálatok alapján. *Acta Agronomica Óváriensis*. **47**. (1.) pp. 11.

- Khan, M. U., Qasim, M., Khan, K.* (2007): Effect of Zn fertilizer on rice grown in different soils of dera ismail khan. *Sarhad J. Agric.* **23**(4), 34-38.
- Kirkby, E. A.* (2005): Essential Elements. In: *Hillel D.* (edit.): *Encyclopedia of soil in the Environment* (pp.478-485)
- Kramer, U., Clemens, S.* (2005): Function and homeostasis of zinc, copper and nickel in plants. *Topics in Current Genetics.* **14**, pp. 215-271.
- Láng F.* (2002): *Növényélettan, a növényi anyagcsere 1.* ELTE Eötvös Kiadó, Budapest. 164-166. 624.
- Lee, C., Craddock, D., Hammar, H.* (1969): Factors affecting plant growth in high-zinc medium. I. Influence of iron on growth of flax at various zinc levels. *Agronomy Journal.* **61**. 562-565
- Lindsay, W.* (1972): Zinc in soil and plant nutrition. *Advances in Agronomy.* **24**. pp. 147-186.
- Liu, D. Y., Zhang, W., Liu, Y. M., Chen, X. P., Zou, C. Q.* (2020): Soil Application of Zinc Fertilizer Increases Maize Yield by Enhancing the Kernel Number and Kernel Weight of Inferior Grains. *Frontiers in Plant Science,* **11**, 188.
- Liu, H., Gan, W., Rengel, Z., Zhao, P.* (2016): Effects of zinc fertilizer rate and application method on photosynthetic characteristics and grain yield of summer maize. *J. Soil Sci. Plant Nutr.,* **16**, 550-562.
- Loch J., Nosticzius Á.* (2004): *Agrokémia és növényvédelmi kémia.* Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- Lu, Z. G., Grewal, H. S., Graham, R. D.* (1998): Dry matter production and uptake of zinc and phosphorus in two oilseed rape genotypes under differential rates of zinc and phosphorus supply. *Journal of Plant Nutrition* **21**: 25-38.
- Mandal, B., Mandal, L. N., Ali, M. H.* (1993) Chemistry of zinc availability in submerged soils in relation to zinc nutrition of rice crop. In: *Proceedings of the workshop on micronutrients, Bhubaneswar, India, 22–23 January 1992*, pp 240–253.
- Marschner, H.* (1995): *Mineral nutrition of higher plants.* Academic Press, London.
- Mauritz B., Vendl A.* (1942): *Ásványtan I. Általános Ásványtan.* Magyar Királyi Egyetemi Nyomda, Budapest. 423-439.
- Mazé, P.* (1914): Influences respective des elements de la solution minérale sur le development du maïs. *Ann Inst Pasteur (Paris).* 1914;28:21–68

- Mengel K.* (1976): A növények táplálkozása és anyagcseréje. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. pp. 162-163
- Mohsin, A. U., Ahmad, A. U. H., Farooq, M., Ullah, S.* (2014): Influence of zinc application through seed treatment and foliar spray on growth, productivity and grain quality of hybrid maize. *The Journal of Animal & Plant Sciences*. **24**(5), 1494–1503.
- Mortvedt J. J., Gilkes R. J.* (1993) Zinc Fertilizers. In: Robson A.D. (eds) Zinc in Soils and Plants. Developments in Plant and Soil Sciences, vol. **55**. Springer, Dordrecht.
- Náray-Szabó I.* (1973): *Kémia*, 2. átdolgozott kiadás, Műszaki Könyvkiadó
- Norvell W. A.* (1991): Reactions of metal chelates in soils and nutrient solutions. In: Mortvedt JJ, ed. Micronutrients in agriculture, Vol. 2 Madison, WI: Soil Science Society of America, 187–227.
- Noulas, C., Tziouvakas, M., Karyotis, T.* (2018): Zinc in soils, water and food crops. *J. Trace Elem. Med. Biol.* **49**, 252–260.
- Orabi, A., Mashadi, H., Abdallah, A., Morsy, M.* (1981): Effect of zinc and phosphorus on the grain yield of corn (*Zea mays L.*) grown on a calcareous soil. *Plant and Soil*. **63**. pp. 291-294.
- Pais I.* (1980): A mikrotápanyag szerepe a mezőgazdaságban. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Peck, A., McDonald, G., Graham, R.* (2008): Zinc nutrition influences the protein composition of flour in bread wheat (*Triticum aestivum L.*). *Journal of Cereal Science*. **47**. pp. 266-274.
- Péntek A., Fazekas Cs.* (2016). A cink hiányának kiváltó okai a talaj-növény rendszerben. *Acta Agraria Kaposváriensis*, **20**(1), 48–61.
- Potarzycki, J., Grzebisz, W.* (2009) Effect of zinc foliar application on grain yield of maize and its yielding components. *Plant Soil Environment*, **55**, 519-527
- Raulin, J.* (1869): Études cliniques sur la vegetation. *Ann Sci Nat Bot Biol Veg Ser* **5**. **11**:93.
- Rózsa E., Pecze Zs., Nagy L., Szakál P.* (2011): Az esszenciális mikroelemek jelentősége. *Acta Agronomica Óváriensis*. **53**. (1.) pp. 125-129.
- Safa, A., Hakimi, L., Pypker, T. G., Khosropour, E.* (2020): The effect of ZnSO₄ and KNO₃ on quantitative and qualitative properties of *Punica granatum L.* *Journal of Plant Nutrition*, **43**:9, 1286-1292.

- Sager, M.* (2007): Trace and nutrient elements in manure, dung and compost samples in Austria. *Soil Biology and Biochemistry*. **39**. 1383-1390.
- Scaife, A., Turner, M.* (1983) *Diagnosis of Mineral Disorders in Plants: Volume 2, Vegetables*. Her Majesty's Stationery Office, London.
- Schmidt R., Szakál P., Beke D., Barkóczy M., Matus L.* (2008): A Zn-komplex vegyület jelentősége a burgonyatermesztésben. *Acta Agronomica Óváriensis*. **50**. (1.) pp. 43-48.
- Schmidt R., Szakál P., Kalocsai R., Barkóczy M., Giczi Zs.* (2003): N-oldat-, valamint Cu- és Zn-kezelés hatása az őszi búza hozamára és nyersfehérjétartalmára. *Mikroelemek a táplálékláncban*. pp. 183-191
- Shahab, Q., Afzal, M., Sarfaraz, Q.*, (2015): Response of maize to different rates and methods of zinc application. *Environment and Plant Systems* **1**, 43-47
- Sharma, C. P.* (2006): *Plant Micronutrients*. Science Publishers, Enfield, NH, USA.
- Shaver, T. M., Westfall, D. G., Ronaghi, M.*, (2007): Zinc Fertilizer Solubility and Its Effects on Zinc Bioavailability Over Time. *J. Plant Nutr.* **30**: 123-133.
- Sillanpää, M.* (1990): Micronutrient assessment at the country level: An international study. *FAO Soils Bulletin*. **63**.
- Singh, J. P., Karamanos, R. E., Stewart, J. W. B.* (1988): The mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Canadian Journal of Soil Science* **68**: 345-358.
- Singh, S., Kumar, S., Natesan, A., Singh, B. K., Usha, K.* (2005): Improving zinc efficiency of cereals under zinc deficiency. *Current Science*. **88**. pp. 36-44.
- Sommer, A. L., Lipman, C. B.* (1926): Evidence on the indispensable nature of zinc and boron for higher green plants. *Plant Physiol.* 1926;1:231-49
- Stefanovits P.* (1975): *Talajtan. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest*.
- Szakál P., Szalka É.* (2008): A Zn-talajkezelés hatása a "Cleopatra" fajtájú burgonya termésátlagára és minőségére. *Acta Agronomica Óváriensis*. **50**. (1.) pp. 49-55.
- Ragab, S.* (1980): Phosphorus effects on zinc translocation in maize. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. **11**. pp. 1105-1127.
- Rashid, A., Bughio, N., Rafique, E.* (1994): Diagnosis zinc deficiency in rapeseed and mustard by seed analysis. *Communications of Soil Science Plant Analysis*, **25**. 3405-3412

- Robson, A. D., Pitman, M. G.* (1983): Interactions between nutrients in higher plants. In: Lauchli A, Bielecki RL, eds. Encyclopaedia of plant physiology, Vol **15A**. New series. Berlin and New York: Springer-Verlag, 287-312.
- Tóth G., Hengl, T., Hermann T., Makó A., Kocsis M., Tóth B., Berényi Üveges J.* (2015): Magyarország mezőgazdasági területeinek talajtulajdonság-térképei (Soil property maps of the agricultural land of Hungary). EUR 27539, JRC Technical Reports.
- Várallyay Gy., Szabóné Kele G., Berényi Üveges J., Marth P., Karkalik A., Thury I.* (2009): Magyarország talajainak állapota a Talajvédelmi Információs és Monitoring rendszer alapján. Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium, Budapest.
- Vazin, F.* (2012): Effect of zinc sulfate on quantitative and qualitative characteristics of corn (*Zea mays*) in drought stress. Cercetari Agronomice in Moldova, **45**(3), 15–24.
- Wallihan, E., Heymann-Herschberg, L.* (1956): Some factors affecting absorption and translocation of zinc in citrus plants. Plant Physiology. **6**. p. 239.
- Zare, M., Khoshgofarmanesh, A., Norouzi, M., Schulin, R.* (2009): Critical soil zinc deficiency concentration and tissue iron: zinc ratio as a diagnostic tool for prediction of zinc deficiency in corn. Journal of Plant Nutrition. **32**. 1983-199.
- Zong, X., Wang, H., Song, Z., Liu, D., Zhang, A.* (2011): Foliar Zn-fertilization impacts on yield and quality in pearl millet (*Pennisetum glaucum*). Frontiers of Agriculture in China. **5**. pp. 552-555.

A szerző levélcíme – Address of the author:

Tóth Endre Andor – Kalocsai Renátó
Széchenyi István Egyetem,
Mezőgazdasági- és Élelmiszertudományi Kar,
H-9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.
E-mail: tothendreandor@gmail.com, kalocsai.renato@sze.hu



A FURIOSO-NORTH STAR FAJTA TENYÉSZTÉSÉNEK VIZSGÁLATA MAGYARORSZÁGON

KOVÁCSOVICS TÍMEA – GULYÁS LÁSZLÓ

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar
Állattudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

ÖSSZEFOGLALÁS

A Furioso-North Star (mezőhegyesi félvér) génmegőrzés és hagyományörzés szempontjából a Magyarországon tenyésztett lófajták között nagy jelentőségű.

A szerzők jelen vizsgálatukban - az elmúlt két-három évtized hazai tenyésztési alapadatai felhasználásával – kitérnek a fajta törzskönyvezett kanca –és ménállományának alakulására, a regisztrált csikók számára, a ménvizsgák eredményeire, a tenyészmének területi megoszlására és a fajtában fedező ménnek telivér vérhányadának változására.

A vizsgálatokból megállapítható, hogy a törzskönyvezett kancák száma 500 és 620 egyed között, a tenyészmének száma pedig 18 és 78 között alakult. Az évente sikeres ménvizsgát tett egyedek száma 9 – 18 volt. A regisztrált csikók száma évenként 99 és 167 között alakult. A fajtában fedező tenyészmének angol telivér vérhányada az utóbbi 30 évben jelentősen emelkedett, arányuk 55,5%-ról 74,4%-ra nőtt. A fajta tenyésztése a jövőben is meghatározó lesz Magyarország dél-keleti régiójában.

Kulcsszavak: lótenyésztés, Furioso- North Star, telivér vérhányad, Magyarország.

BEVEZETÉS

A hazánkban tenyésztett lófajták messze földön híresek. Kevés ország rendelkezik olyan kiváló fajtákkal és a fajták oly nagy számával, mint Magyarország. Ilyen például a hucul, a magyar hidegvérű, a lipicai, a nóniusz, a shagya-arab, a kisbéri félvér, a gidrán és a Furioso-North Star, vagyis a mezőhegyesi félvér.

Vizsgálatunk a Furioso-North Star fajtának a bemutatására, létszám alakulásának elemzésére szolgál. Elsődleges célunk volt a törzskönyvezett kancák és ménék számának alakulásáról egy általános képet mutatni, valamint a mezőhegyesi félvérek származásában felmérni az angol telivér egyedeket, ezáltal megállapítani, hogy milyen mértékben játszik szerepet az angol telivér a fajta tenyésztésében.

IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Furioso-North Star fajta rövid története

A mezőhegyesi félvér a XIX. századból ered. Ebben a században általánossá vált az angol telivér nemesítőként való felhasználása Európában. A legjobban bevált méneket több éven keresztül tartották tenyésztésben a XIX. század elején, ezek közül mutatunk be néhányat, zárójelben pedig az eredetüket tüntetjük fel (*Konyhás*, 2008; *Ócsag*, 1984; *Ernst*, 1985).

- Barbaro (berber)
- Mylord (angol)
- Principe (lipicai)
- Montebello (lipicai)
- Mercurio (erdélyi)
- Brilliante (erdélyi)
- Colonello (spanyol)
- Vigourieux (spanyol)
- Principe (holsteini)
- Pomposo (mecklenburgi)

A XIX. század közepe felé már az angol lovak, majd a telivér határozott előretörésről beszélhetünk. A kialakulófélben lévő arab alapú gidrán és az anglonormann eredetű nóniusz mellett angol fajtájúnak mondott mének és közöttük telivérek is egyre inkább szerephez jutottak. Ennek eredménye lett a telivér mének által alapított mezőhegyesi félvér, vagyis a Furioso-North Star fajta (*Dévényi, 1934; Pataki, 1988*).

Az alapító mén Furioso Senior 1836-ban született gr. Károlyi György ménesében. Anyja Miss Furey volt. Apja, Privateer 4 éves koráig öt versenyt nyert. Furioso az egykori leírások szerint arányos, nagyon nemes megjelenésű mén volt, széles szüggyel és bő mellkassal (*Kovácsy és Monostori, 1892; Ócsag, 1989*).

A másik fajtaalapító mén North Star. North Star egy bogárfekete mén, kis csillaggal. 1844- ben született Angliában. Apja Jaques, a híres Eclipse dédunoka, anyja pedig Ringlet, ugyancsak Eclipse vonalából eredő kanca (*Bodó és Hecker, 2013; Janászik, 2017*).

A mezőhegyesi félvér 1900 táján, már kiváló minőségű és használati értékű háts- és kocsilovat adott, amit legjobban bizonyít, hogy Csekonics József unokája, Csekonics Endre ilyen lovakat tenyésztett zombolyai ménesbirtokán (*Hecker, 2014; Bokor et al., 2011*).

A fajta leírása

Színek: pej és fekete kevés, nem túl nagy terjedelmű jegyekkel, elfogadott a sárga és a szürke is, de nem kívánatosak. A fakó szín és árnyalatai, valamint a tarkaság kizáró oknak minősülnek.

Méretetek: A marmagasságnak mindenképpen meg kell haladnia a 148 cm-t, az ennél alacsonyabb marmagasságú egyedeket kizárják a tenyésztők. Mének esetében az ideális méretek: marmagasság bottal mérve 164-172 cm, 155 cm alatti mén a tenyésztői bizottság külön elbírálása alapján kaphat engedélyt. Az övméret a marmagassággal arányos, átlagosan 180-203 cm. A szárkörméret optimális esetben 21-22 cm, a 19 cm alatti méret nem kívánatos. Kancák esetében az ideálisnak tekinthető méretek: marmagasság bottal mérve 160-168 cm, 155 cm alatti kanca csak a megfelelő méretű ivadéka útján kerülhet fő-törzskönyvbe. Az övméret a marmagassággal arányos, átlagosan 180-205 cm. A szárkörméret 21-22 cm, 18 cm alatti nem kívánatos.

Küllem: A fej száraz, nemes, kint ülő nagy szemekkel. A fajtából kizáró oknak tekintendők a nagy, burkolt, ill. kosfej, valamint az apró, mélyen ülő szemek. A fej széles,

rugalmas tarkón keresztül a kellően hosszú, ívelt, középmagasan illesztett széles alapról induló nyakban folytatódik, a rövid terhelt nyak kizáró oknak minősül. Közepesen magas, kifejezett, hátba nyúló mar jellemző, mely közepesen hosszú, izmos hátban folytatódva erős, izmos ágyékkal kapcsolódik a terjedelmes, széles, hosszú, enyhén csapott, erőteljes, izmos farhoz. A rövid, csapott, barázdált far kizáró oknak minősül.

Kívánatos a széles, mély szügy, a mély dongázott mellkas, mely hengeres hasban folytatódik. Az elülső végtag hosszú, dőlt lapockából indul, melyhez izmos felkarban, jól izmolt, hosszú alkarban kapcsolódik a középhosszú csüdön keresztül az egészséges szaruanyagú, terjedelmes pata. A hátulsó végagnál fontos a széles, hosszú, jól izmolt far, jól izmolt alcomb, melyhez terjedelmes száraz csánkon és jól illesztett rövid száron, egészséges bokán és csüdön keresztül az egészséges szaruanyagú, terjedelmes pata kapcsolódik.

Mozgás: Ajánlatos a tért ölelő, laza, rugalmas, akciós mozgás lépésben ügetésben egyaránt. A vágta legyen kerek, akciós, rugalmas és lendületes. A lábak előrevitelle oldalról és hátulról egyaránt szabályos (*Furioso-North Star Lótenyésztő Országos Egyesület*, 2019).



1. kép: The Bart Furioso III-114 Tambura tenyészmén

A mezőhegyesi félvér értékmérő tulajdonságai

A Furioso-North Star fajtájú ló értékmérő tulajdonságait mindenkor a tenyészcélban megfogalmazott kívánalmak figyelembevételével kell megfogalmaznunk.

A fajta értékmérő tulajdonságait egyrészt a genotípusában (származási értékek) másrészt a fenotípusában (küllem, mozgás, vérmérséklet) lehet és kell keresnünk (*Radnóczy, 2002*).

A testalakulásról, a küllemről, illetve a mozgás minőségéről következtethetünk a ló teljesítőképességére. Minden jó felépítésű ló előnyben van a teljesítmény megjelenítése során, hibás küllemű társaival szemben, ezért a fajtával szemben elvárás a harmonikus megjelenés, a korrekt küllem, a nagy ráma. A jó mozgásadottságok azok, amelyek leginkább meghatározzák a ló teljesítményét. Fontos a jármódok tisztasága, ütemessége, rugalmassága (*Mihók és Ernst, 2015*).

A láb előre vitel legyen szabályos, nagy ívű, térerlelő. A lónak legyen meg a természetes egyensúlya. Ezen tulajdonsággal rendelkező egyedek könnyebben idomíthatóak, kiegyensúlyozottabbak (*Bodó és Domokos, 2016*).

Mindezek mellett fontos szem előtt tartanunk, hogy a tenyésztésbe vont lovaknak a tenyészcélban megfogalmazott tulajdonságokat a lehető legteljesebb módon kell hordozniuk. A fajtajelleg mellett egyértelmű nemi jelleggel kell rendelkezniük, hiszen nem használati, hanem tenyészállatok.

A származási érték az egyik legfontosabb értékmérő tulajdonság, hiszen az ősök ismeretében következtethetünk az egyed képességeire, várható teljesítményére. A származásértékelés azonban nem garancia. A származás vizsgálatakor fontos az ősök teljesítményének, munkakészségének, szervezeti szilárdságának ismerete. A közvetlen ősök (szülők, nagyszülők) teljesítményének ismereteiből vonhatunk le meghatározó következtetéseket az adott egyed képességeire vonatkozóan. A származásban ennél hátrébb található ősök érdemi hatást már nem fejtenek ki az egyed adottságainak átörökítésében.

A külső értékmérő tulajdonságok megítélésének módja a küllemi bírálat. A bírálat célja, hogy a testfelépítés és a tenyészcélban megfogalmazott kívánalmakhoz szükséges teljesítőképesség közötti összefüggéseket felismerjük és helyesen ítéljük meg. Mindezekhez szükséges a testalakulás funkcionális összefüggéseit feltáró leíró bírálat (*Furioso-North Star Lótenyésztő Országos Egyesület, 2019*).

Fajta tenyésztésének módszere

A Furioso-North Star lófajta konszolidált. Az egyedeinek többsége magán hordozza a fajta ismertető jegyeit. A mérvonalai és a kancacsaládjai jól meghatározhatóak és kellő számúak, ezzel a genetikai értékkel ügyesen gazdálkodva lehetséges a fajta fenntartása.

A fajtatiszta tenyésztés módszere:

A párosítandó egyedek a fajtához, vagy a fajta kialakulásában szerepet játszó génállományokhoz tartoznak. A fajtajelleg és a meglévő értékmérő tulajdonságok rögzítése, és a populáció kiegyenlítetttségének a megőrzése a cél.

A fajtatiszta tenyésztés előfeltétele a szelekciós bázis, és az előrelátó tenyésztői munka.

A fajta kialakulásában szerepet játszó fajták:

- angol telivér,
- arab telivér, shagya, arab félvér
- magas félvér, legalább 75% angol telivér vérhányad,
- anglo-arab,
- kisbéri félvér
- gidrán
- nóniusz

(*Furioso-North Star Lótenyésztő Országos Egyesület*, 2019).

Az angol telivért és az arab telivért szerte a világon használták, illetve a mai napig használják a tenyésztésben. Ezeknek a fajtáknak a fő tenészcéljuk mindig is a gyorsaság volt, amit manapság már biztonságosan tudják örökíteni az utódaikra (*Novotni*, 2006).

ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgálatainkhoz a *Magyar Lótenyésztők Országos Szövetsége* tenyésztési adatait, és a *Furioso-North Star Lótenyésztő Országos Egyesület* tenyésztési adatait, méneskönyveit és tenyésztési évkönyveit használtuk fel. A vizsgálatunk ideje a legtöbb esetben az 1989-2020 közötti időszakra terjed ki. Az összegyűjtött alapadatok értékelését, és a táblázatok, ábrák készítését Excel programban végeztük el.

Vizsgálataink szempontjai:

- Furioso-North Star tenyészmének megoszlása megyénként (2008-2020)
- Furioso-North Star törzskönyvezett kancák számának alakulása (2006-2019)

- Furioso-North Star ménvizsgák eredményei (2011-2019)
- Furioso-North Star regisztrált csikók számának vizsgálata (1993-2017)
- Furioso-North Star törzskönyvezett kancák és tenyészmének telivérezettség vizsgálata (1989-1990 és 2020)

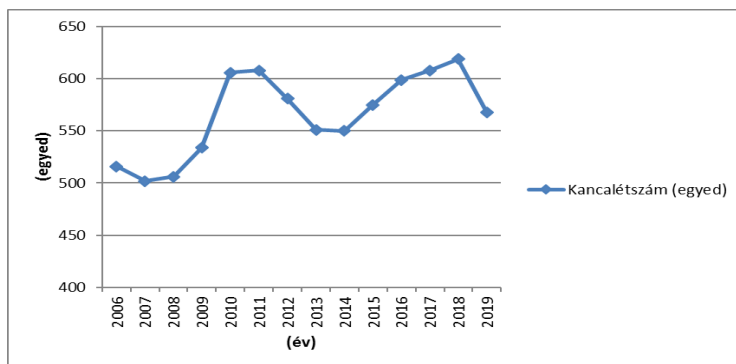
A hivatalos telivér vérhányad számolásnál a 4. ősi sort vizsgáljuk, a 4. ősi sorban lévő telivéreket összeszámoljuk, és ezt az értéket elosztjuk 16-al, mivel 16 ős van a 4. ősi sorban és ezt megszorozzuk 100-al, így százalékban megkapjuk a telivér vérhányadot (Csikvári és Korsós, 2012; (Csikvári, 2014; Csikvári, 2016; Csónaki et al., 1991).

A 2019-es ménkatalógusban 78 mén szerepelt, az 1989-1990-es méneskönyvben csak 18 mén. Összesen 96 mén származását tudtuk vizsgálni és összehasonlítani. Kancák esetében már több egyed származását vizsgáltuk. A 2016-os évkönyvben szereplő kancák száma 137 egyed. Az 1991-es méneskönyvben pedig, 222 egyedet találtunk, így összesen 359 kanca származását vizsgáltuk.

EREDMÉNYEK

Munkánk célja, hogy felmérjük a Furioso-North Star fajta törzskönyvezett egyedeinek számát, Magyarországon belüli eloszlását, illetve ezeknek az értékeknek az összehasonlítását elvégezni.

Az elsődleges értékelési szempontunk a tenyésztésben lévő törzskönyvezett kancák egyedeinek vizsgálata. Az *1. ábrán* mutatjuk be a változásokat 2006-tól 2019-ig.



mare staff numbers (1)

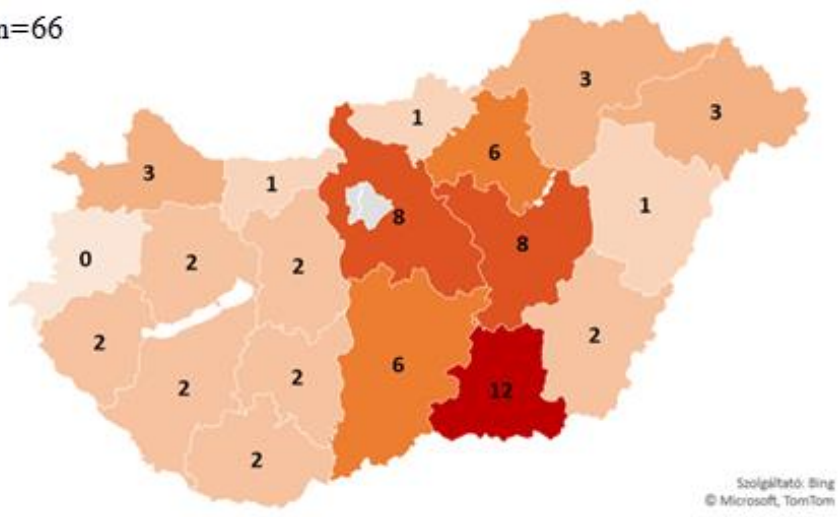
1.ábra: A törzskönyvezett kancalétszám alakulása (2006-2019)

Figure 1: The establishment of pedigree mare staff numbers (2016-2019)

Az *1. ábrán* megfigyelhető, hogy 2006-tól egy enyhe visszaesés mutatkozik meg, majd 2008-tól egy erőteljes növekedés követi. Az erőteljes emelkedést pedig, szintén egy visszaesés követi 2012-től, 2014-ben növekedést figyelhetünk meg. A 2019-es egyed szám csökkenő tendenciát mutat. A vizsgált időszakban a törzskönyvezett kancák száma 500 és 620 egyed között változott.

A Furioso-North Star ménék megoszlását mutatjuk be 2008-ban és 2020-ban megyénként. Ehhez az MLOSZ oldalán lévő „ménelhelyezési dokumentumot” használtuk fel. Ezeket az értékeket gyűjtöttük össze és szemléltettük egy Magyarország térkép segítségével a *2. és a 3. ábrán*.

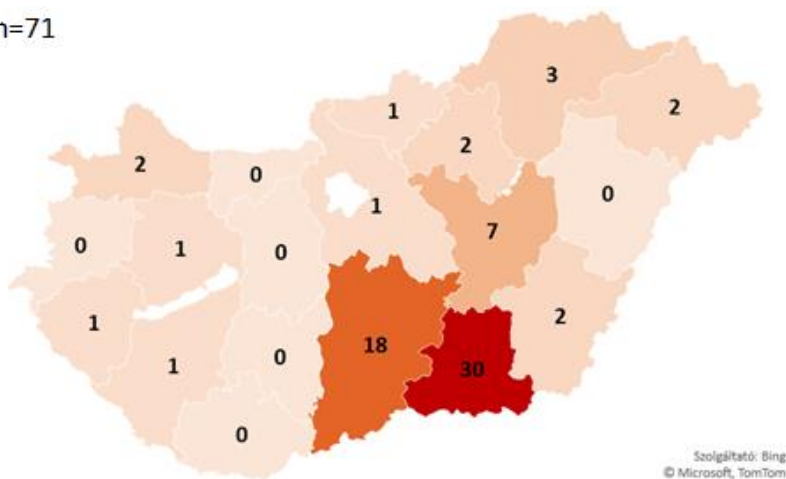
n=66



2. ábra: Furioso-North Star ménelhelyezés megyénként (2008)

Figure 2: Furioso-North Star stallion placement county (2008)

n=71



3. ábra: Furioso-North Star ménelhelyezés megyénként (2020)

Figure 3: Furioso-North Star stallion placement county (2020)

Összességében elmondható, hogy 2008-ban és 2020-ban is Csongrád megyében volt a legtöbb mén, ez a szám 2020-ra 30 egyedre emelkedett. Vas megyében a vizsgált évek egyikében sem volt Furioso-North Star mén. Az egész térképet tekintve 2008-ban szinte

az összes megyében megtalálható volt, mezőhegyesi félvér mén, míg 2020-ban eléggé koncentrálódott Csongrád megyére. Az összes egyed számát tekintve 2020-ban több (n=71) volt a mén, mint 2008-ban (n=66).

A jelenlegi lóállomány tartásának elsődleges célja a tenyésztési feladatok ellátása és a Furioso-North Star fajta nemesítése, genetikai anyagának megőrzése. Az eredményes tenyésztéshez nélkülözhetetlen a tenyésztésre szánt állatok sajátteljesítmény vizsgálata (STV) is. Az *1. táblázat* szemlélteti a 2011-től 2019-ig vizsgázó mének számát és eredményeit. Ez alapján elmondhatjuk, hogy a vizsgázott mének többsége sikerrel teljesítette a sajátteljesítmény vizsgát.

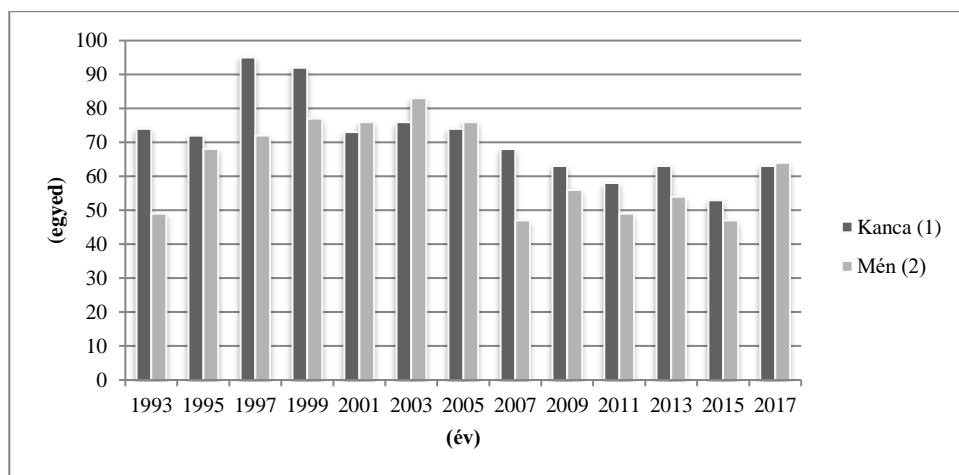
A regisztrált csikók számát 1993-tól 2018-ig a *4. ábrán* szemléltetjük.

1. táblázat: Furioso-North Star mének sajátteljesítmény vizsga eredmények (2011-2019)

Table 1: Furioso-North Star stallionsown performance examresults (2011-2019)

STV vizsga (év) (1)	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Vizsgázott (egyed) (2)	9	12	3	14	12	13	19	14	14
Megfelelt (egyed)(3)	9	12	3	13	12	11	18	14	13
Nem felelt meg (egyed) (4)	0	0	0	1	0	2	1	0	1

STV exam (1), examined (2), matched (3), fail (4)



mare (1), stallion (2)

4. ábra: Furioso-North Star fajtában regisztrált csikók száma, ivar szerinti alakulása (1993-2017)

Figure 4: Furioso-North Star thepresentation of thenumber of coltsregistered in a kind, dividedintostallion and mare (1993-2017)

A 4. ábrán látható, hogy a bemutatott időszak alatt 1997-ben volt a legtöbb kanca csikó, ez 95 egyedet jelent. A mén csikók esetében a legmagasabb szám 2003-ban mutatkozik meg, ez szám szerint 83 egyedet jelent. Látható, hogy mindkét ivar esetében 2007-től csökkenő tendenciát mutat a csikók létszámának alakulása. Az 1993-tól 2017-ig regisztrált csikó száma 3336 egyed, amely éves átlagban 133 csikót jelent.

Az angol telivér szerepét az 1990-es években, és a 2016, 2019-es években vizsgáltuk a Furioso-North Star fajtában. A Furioso-North Star fajtában fedező ménnek 4. ősi soros származása alapján számítottuk ki a telivér vérhányadot.

Az 1989-1990-es méneskönyvben szereplő, ménnek közül 7 egyed származásában nem volt egy telivér sem, a telivér vérhányad 0%. 10 % alatti telivér hányad egy egyednél figyelhető meg. 10-20% közötti 4 egyednél látható, míg 20-30% közötti csak egy egyednél, 30-40 % szintén egy egyednél, végül egy egyednél 50%-os telivér vérhányadot állapítottunk meg.

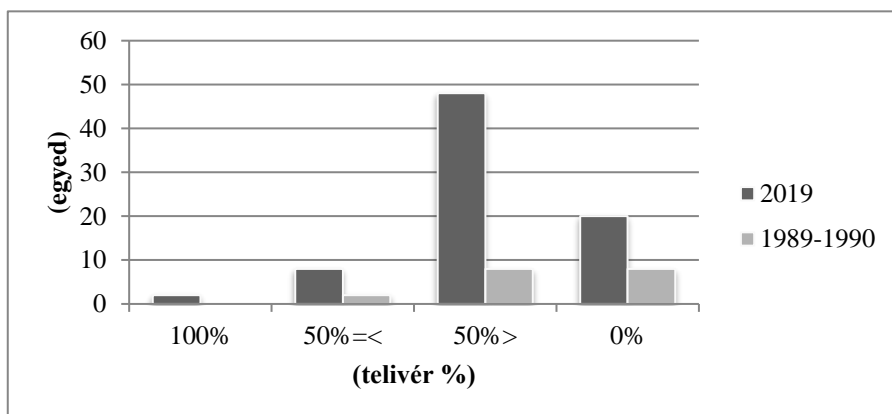
A 2019-es méneskönyvben 78 mén szerepelt, az 1989-1990 méneskönyvben pedig, 18 egyed, így az összes egyed összehasonlítását a 2. táblázat, és az 5. ábra mutatja meg.

2.táblázat: Tenyészmének telivér vérhányadának alakulása (1989-1990, 2019)

Table 2: The distribution of the thoroughbred percentage of studs (1989-1990, 2019)

Telivér vérhányad (%) (1)	Tenyészmének 2019 (egyed) (2)	Tenyészmének 2019 (%)	Tenyészmének 1989-1990 (egyed)	Tenyészmének 1989-1990 (%)
100%	2	2,6	0	0
50%=<	8	10,3	2	11,2
50%>	48	61,5	8	44,4
0%	20	25,6	8	44,4
Összesen (egyed) (3)	78	100,00	18	100,00

thoroughbred blood proportion (1), stud (2), altogether (3)



5. ábra: A tenyészmének telivér vérhányadának alakulása (1989-1990, 2019)

Figure 5: The establishment of the thoroughbred blood proportion of 1989-1990 and 2019 studs

A 2. táblázatban, és az 5. ábrán megfigyelhető, hogy a 1989-1990-es méneskönyvben szereplő méneknél a származásban nem találtunk angol telivér tenyészmént, míg az 2019-es méneskönyvben szereplőknél 2 egyedet is találtunk. Az 50% feletti telivér százalékkal rendelkezők, illetve az 50% alatti telivér hányadok százalékos értéke nem mutatnak nagy változást az összehasonlítás alapján. 2019-ben sokkal kevesebb a 0% telivér hányaddal rendelkező egyed, mint az 1989-1990-es évkönyvben szereplőké, hiszen ez 2019-ben 25,6 %, míg 1989-1990-ben 44,4% volt.

A továbbiakban a törzskönyvezett kancák telivér százalékát hasonlítottuk össze, ebben az esetben a 2016-os és az 1991-es adatok álltak a rendelkezésünkre. A 3. táblázat szemlélteti ezeket az adatokat.

3.táblázat: Törzskönyvezett kancák telivér vérhányadának megoszlása (1991, 2016)

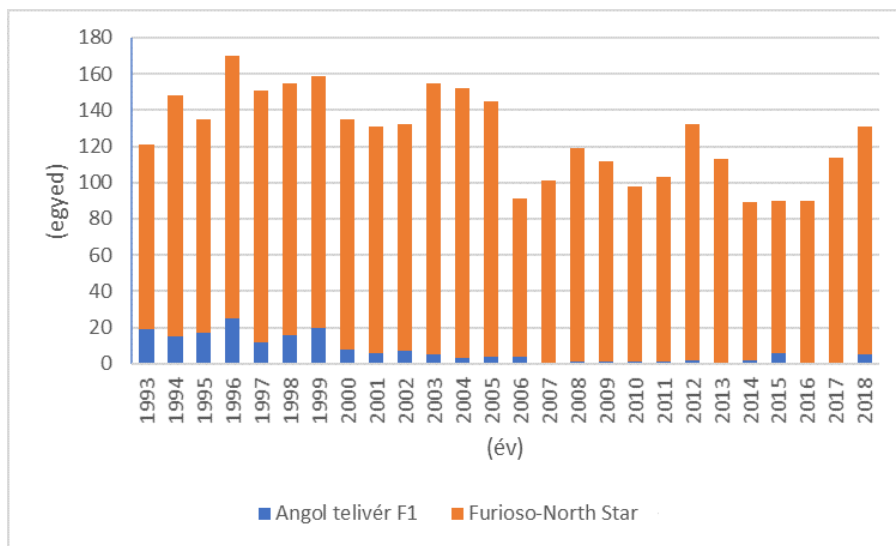
Table 3. The distribution of the thoroughbred blood proportion of mare (1991, 2016)

Telivér vérhányad (%) (1)	Új beállítású kancák 2016 (egyed) (2)	Új beállítású kancák 2016 (%)	Kancák 1991 (egyed) (3)	Kancák 1991 (%)
100%	1	0,7	0	0
50%=<	9	6,6	35	15,8
50%>	93	67,9	126	56,8
0%	34	24,8	61	27,4
Összesen (egyed) (4)	137	100,00	222	100,00

thoroughbred blood proportion (1), new setting mare (2), mare (3), altogether (4)

A 2016-os adatokat az új beállítású kancáknál vizsgáltuk. A telivér vérhányad a kancák esetében nem mutat akkora változatosságot, mint a ménék esetében. Eltérést mutat, hogy 1991-ben nem volt egy olyan kanca sem, amely angol telivér lett volna, míg 2016-ban egy ilyen egyed szerepelt a méneskönyvben. Az adatok szerint még elmondható, hogy az 50% feletti telivérezettséget mutató kancák 1991-ben kétszerese (15,8%) volt a 2016-ban (6,6%) leírtakhoz képest, illetve az 50% alatti kancák esetében minimális különbséget figyelhetünk meg. 2016-ban az összes egyed 67,9%-a volt ebben a kategóriában, míg 1991-ben 56,8% volt ide sorolható.

A Furioso-North Star fajtában regisztrált csikókat vizsgáltuk, 1993-2018 évek között apai származás szerint (angol telivér F1 és Furioso-North Star). Ezeket az eredményeket a 6. ábrán mutatjuk be.



English thoroughbred F1 (1), Furioso-North Star (2)

6. ábra: Angol telivér F1 és Furioso-North Star csikók megoszlása (1993-2018)

Figure 6: English thoroughbred F1 and Furioso-North Star the distribution of colts (1993-2018)

A 6. ábrán látható, hogy 1993-tól egészen 1999-ig sokkal több az angol telivér F1 csikó, mint a további években. 2015-ben és 2018-ban vannak még kiugró adatok, ami 2015-ben 6 egyed, illetve 2018-ban 8 egyed. Ez az egyedszám sokkal kevesebb, mint 1999-ben, mikor 20 angol telivér F1 egyed született. Fontos megemlíteni, hogy 2006-tól egy csökkenő tendenciát mutat a csikók száma, 2005-ben még 145 csikóról beszélhetünk, ez a szám lecsökkent 91 egyedre. Viszont 2018-ra javulni látszik a helyzet, 131 volt a regisztrált csikó.

KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A történelem sok viharán ment át a Furioso-North Star fajta, hatalmas csodának számít az I. és II. világháborús veszteségek után a fajta sikeres regenerálása. A harmadik csapás a törzsménes áthelyezése volt, ami megszüntette a történelmi, hagyományos környezetet. Sajnos a Furioso-North Star lovak szerepe a mindennapi gazdasági életben is csökkent, és a külföldi fajtákat a különböző hírvérések is előtérbe hozzák. Fontosnak tartjuk, hogy

megfelelő népszerűsítés mellett, mindenki számára ismert legyen a mezőhegyesi félvér, hiszen egy nemzeti kincsről van szó, amit minden magyar embernek ismernie kellene.

Tenyésztés szempontjából az elsődleges a jól megszervezett célpárosítás, a meglévő vonalak fenntartása és észszerű vonaltenyésztés, és az angol telivérrel való nemesítés. Ezt szem előtt tartva, nagyszámú utódok esetén megőrizhető a fajta jellege, állománya. A jól megválasztott telivérek esetében kitűnő teljesítményű lovak születtek, ezért nem elhanyagolható a csikók megfelelő körülmények között való felnevelése, tartása. A közelmúltban alkalmazott telivérek közül érdemes kiemelni a The Bart xx mént. Tenyésztő hatását két törzsmén utódján fejteti ki. Az angol telivér mének használatával szerzett kedvező tapasztalatok újra a megfelelő nemesítő mének felkutatására ösztönzik a tenyésztőket. Az újonnan alkalmazott telivérek javító hatását támasztja alá, hogy az elmúlt időszakban új vonalak jöttek létre (The Bart), így a jövőben alkalmazott telivérek közül is kerülhetnek ki olyan egyedek, melyek vonalat alapítva biztosítják a fajta jövőjét.

A telivér apaságú F1 kanca ivadékok a továbbiakban vonalbeli ménnel párosítva kerülnek továbbtenyésztésre, ennek az úgynevezett „visszakeresztetésnek” a szigorú szabálya a garancia arra, hogy a Furioso-North Star fajta fejlődhessen és megmaradjon Magyarországon.

A fedező méneknél valamint a kancáknál nagyon különböző a származást tekintve a telivér vérhányad. Mének között előfordulnak fajtatiszta angol telivér fedezőmének is, melyek növelni tudják a félvér állomány nemességét.

Lényeges lenne a mének jobb kihasználása is. Megoldást jelenthetne, hogy megyénként rendelkezésre állna a tenyésztőknek legalább egy-egy Furioso-North Star mén.

Mének esetében pedig további vizsgálatot jelenthet a sportban való kipróbálás mellett, az ivadékok vizsgálata is. Mének esetében legalább 30 ivadékra lenne szükség ahhoz, hogy ivadék vizsgálatot is lehessen végezni, ami a mén örökítő képességét jellemezné. A kancák esetében is hasonlóan kellene eljárni, az ivadék vizsgálatok alapján eredményesebben lehetne tenyészteni.

ANALYSIS OF FURIOSO-NORTH STAR BREEDING IN HUNGARY

TÍMEA KOVÁCSOVICS – LÁSZLÓ GULYÁS

Széchenyi István University, Mosonmagyaróvár

SUMMARY

The Furioso-North Star (Mezőhegyes half-breed) is of great importance among the horse breeds developed in Hungary regarding gene conservation and traditional preservation.

In the present study, the authors discuss the development of the registered mare and stallion population of the breed, using the basic data of the last two to three decades of domestic breeding, the number of registered foals, the results of the stallion tests, the spatial distribution of breeding stallions and the changes in the proportion of thoroughbred blood in the stallions covering the breed.

The reviewed studies show that the number of registered mares ranged from 500 to 620 and the number of breeding stallions was between 18 and 78. The number of successful stallion tests per year was 9-18. The number of registered foals per year varied between 99 and 167. The blood ratio of English Thoroughbreds proportion of covering breeding stallions in the breed has increased significantly in the last 30 years, from 55.5% to 74.4%. Breeding of the Furioso-North Star horse breed will continue to be dominant in the south-eastern region of Hungary.

Keywords: horse breeding, Furioso- North Star, thoroughbred blood ratio, Hungary.

IRODALOM

Bodó I. - Domokos G. (2016): A mezőhegyesi félvér. Magyar Lótenyésztők Országos Szövetsége

Bodó I. - Hecker W. (2013): Lótenyésztés, lótartás, lóhasználat. Mezőgazda Kiadó, Budapest

Bokor Á. - Pongrácz L. - Bartos Á. - Gulyás L. (2011) – Lótenyésztés. E-tananyag

Csikvári M. - Korsós I. (2012): Furioso-North Star Méneskönyv (2011-2012). Furioso-North Star Lótenyésztő Országos Egyesület

Csikvári M. (2014): Furioso-North Star Ménkönyv (1993-2013). Furioso-North Star Lótenyésztő Országos Egyesület

Csikvári M. (2016): Furioso-North Star tenyésztési évkönyv (2016). Furioso-North Star Lótenyésztő Országos Egyesület

Csónaki J. - Monori I. - Zámboi M. (1991): Furioso-North Star Méneskönyv I. kötet (1989-1990). Furioso-North Star Lótenyésztő Országos Egyesület, Budapest

Dévényi J. (1934): A Furioso és North Star családok. Különlenyomat Marosmenti Gazda

Ernst J. (1985): A császári aláírástól a Mezőgazdasági Kombinátig. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest

Furioso-North Star Lótenyésztő Országos Egyesület (2019): A Furioso-North Star tenyésztési programja. Kecskemét

Hecker W. (2014): A bábolnai arab ménes. Magyarországi Arab Lótenyésztők Egyesülete

Janászik A. (2017): A kisbéri-félvér fajta tenyésztési programja. Kisbéri és Gidrán Lótenyésztő Országos Egyesület, Gyúró

Konyhás I. (2008): A lovak világa. Tóth Könyvkereskedés és Kiadó Kft., Debrecen

Kovácsy B. - Monostori K. (1892): A ló és tenyésztése. Az Országos Magyar Gazdasági Egyesület Könyvkiadó-vállalata, Budapest

Mihók S. - Ernst J. (2015): A gidrán. Mezőgazda Kiadó, Budapest

Novotni P. (2006): Az angol telivér szerepe a félvér fajták tenyésztésében. Lovas Élet 7. évfolyam, 2006/5 szám, május, 44-45 o.

Novotni P. (2006): Az angol telivér szerepe a félvér fajták tenyésztésében. Lovas Élet 7. évfolyam, 2006/6 szám, június, 44-45 o.

Novotni P. (2006): Az angol telivér szerepe a félvér fajták tenyésztésében. Lovas Élet 7. évfolyam, 2006/2 szám, február, 18-19 o.

Ócsag I. (1989): Az angol telivér alkalmazhatósága és szerepe az ország sportló tenyésztésében. ÁTK Állattenyésztési Kutatóintézete Közleményei, Gödöllő,

Pataki B. (1988): A mezőhegyesi félvér fajta tenyésztése a Kiskunsági Ménes állományára alapozottan. Állattenyésztési Kutató Intézet, Herceghalom

Radnóczy L. (2002): DNS vizsgálat nóniusz, furioso és gidrán lófajtákban. Kutatási jelentés 9. o.

Egyéb hivatkozások:

KSH: <https://www.ksh.hu/>

MLOSZ: <http://www.mlosz.hu/>

URL¹: <https://www.furiosonorthstar.hu/2020/10/06/men-stv-sarlopusztan-szeptember-26-27-en-eredmenyek/>

A szerzők levélcíme – Adress of the authors:

Kovácsovics Tímea – Gulyás László

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság-és Élelmiszertudományi Kar

Állattudományi Tanszék

9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 4.

e-mail:

kovacsovics.timea@gmail.com

gulyas.laszlo@sze.hu



ROBOTTECHNIKA ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A SZÁNTÓFÖLDI NÖVÉNYVÉDELEMBEN

AMBRUS BÁLINT

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar,
Biológiai Rendszerek és Élelmiszeripari Műszaki Tanszék, Mosonmagyaróvár

ÖSSZEFOGLALÓ

A szerző a mezőgazdaságban, azon belül a növényvédelemben alkalmazott robotok jellemzőit, valamint a robottechnológiai lehetőségeket, a robottechnika által nyújtott lehetőségeket mutatja be. Különös hangsúlyt fektet a fenntarthatóság kritériumainak elemzésére. A legkritikusabb tényező a szintetikus növényvédő szerek, a kemikáliák használatának csökkentése, ill. helyettesítése fizikai eljárásokkal. Ezek az ismeretek segítik a paradigmaváltást a mezőgazdasági munkák automatizálásában, robotizálásban. A jövő a small, smart, interconnected, light machines, tehát a kis méretű, okos gépeké. Ezek jellemzői azonban morális és azon belül számos etikai, valamint menedzsment és szociális kérdést vetnek fel mind a rajban dolgozó gépek üzemeltetése, mind pedig tervezése és gyártása terén. A jövő a szuperintelligens gépeké ezen a területen is, amelyek mind a szoftver, mind a hardver területen képesek lesznek magukat továbbfejleszteni. Felhívja a figyelmet a dolgozat arra is, hogy olyan értelemben is paradigmaváltásra van szükség, hogy az alapgépeket szabványosítani kell, vagyis egy robot tervezésénél ne az alapokból kelljen kiindulni, hanem fel lehessen használni a már korábban kifejlesztett alkalmazásokat is. Erre jó példa az From Toy to Tool: FTtT. Az ipari robotok számos innovációs lehetőséget kínálnak, ugyanakkor ezen ismeretek, tapasztalatok természetes környezetbe történő adaptálása komoly kihívásokat jelent. A mezőgazdasági termelés sajátos jellege miatt a robotizáció területén az iparban felhalmozódott ismeretek, megoldások itt csak részben hasznosíthatók, és az egyes

termelési területek többségében szintén sajátos megoldások szükségesek. Valószínűsíthető, hogy a mezőgazdaság robotizálása új szervezési és szervezeti struktúrák kialakítását is igényli. Ehhez is nyújt segítséget a cikk.

Kulcsszavak: robot, robottechnika, növényvédelem, GPS, RTK, MI, drón

BEVEZETÉS

A jövő mezőgazdaságában döntő szerepet fog játszani a robottechnológia. A mezőgazdasági robotok széles köre fog elterjedni a növénytermesztési technológiákban, amelyek teljes mértékben át fogják venni az ember szerepét. Napjainkban kifejlesztett mezőgazdasági célú robotok még csak kiegészítik, segítik a mezőgazdasági munkát, valamint nem mutatnak széleskörű alkalmazási lehetőségeket, legtöbbjük egy adott célra lettek kifejlesztve, mint például növényvédelmi célú robotok. *Blackmore (2017)* szerint a robotgyártók ma még egyedi gépekben és nem rendszerben gondolkodnak.

MI A ROBOT?

A robotika 3 alapvető törvényét 1942-ben Isaac Asimov sci-fi író fogalmazta meg:

- „1. A robotnak nem szabad kárt okoznia emberi lényben, vagy tétlenül túrnie, hogy emberi lény bármilyen kárt szenvedjen.
2. A robot engedelmeskedni tartozik az emberi lények utasításainak, kivéve, ha ezek az utasítások az első törvény utasításaiba ütköznenek.
3. A robot tartozik saját védelméről gondoskodni, amennyiben ez nem ütközik az első vagy második törvény bármelyikének előírásaiba” (URL₁).

Ugyanakkor a robot szó jelenleg nem igazán olyan jól körülhatárolható, és sok a vita a mérnöki, a tudományos és a hobbi közösségekben is zajlik definíció, mi az a robot és mi nem. Leggyakrabban egy olyan gépet, amelyet programozni lehet számítógép által, és önműködően végrehajtja a műveleteket automatának tekintünk (*Amobi, 2019*). Ezzel szemben robotnak definiálunk minden olyan működő entitást, amely a dinamikus változó környezet jellemzőit érzékeli, értelmezi és működését ehhez is igazítva avatkozik be a környezetébe. További fontos tulajdonság a kommunikáció és kooperációképesség. Az automatizálási rendszernek információra van szüksége a megfelelő döntések

meghozatalához, mielőtt cselekedne. Ha az automatizálási rendszernek helytelen információi vannak, hibás döntéseket hoz és helytelen intézkedéseket fog tenni.

A gyakorlati alkalmazás számos műszaki-informatikai, jogi és etikai problémát is vet fel, amelyek még megoldásra várnak. A mezőgazdaság robotizálása a konstrukciós megoldások megfelelőségén túl számos, tágabb, rendszerszintű problémát is felvet. Ilyenek például az élet- és vagyonbiztonság problémái, az ember szerepe, felelőssége, kompetenciája a robotizálásban, a robotok együttműködése, ennek szükséges infrastruktúrája, a robotok mozgása, mozgatása a közutakon, a költséges gépek idényjellegű használata, ennek költség kihatásai.

Az egyik legfontosabb kritérium a robottechnika fejlesztése során a fenntartható fejlődés kérdésköre, amely betartása nagy felelősséget támaszt a fejlesztők iránt. „A fenntartható fejlődés olyan fejlődés, amely kielégíti a jelen generációk szükségleteit anélkül, hogy veszélyeztetné a jövő generációit abban, hogy ők is kielégíthessék szükségleteiket” (Láng, 2001). Fenntartható fejlődésről csak akkor beszélhetünk, ha az megfelel az ökológiai elvárásoknak, tehát környezetbarát, hozzájárul az agrár biodiverzitás növeléséhez, klímaváltozás-semleges, vagy mérsékli a klímaváltozás kedvezőtlen hatásait, és csökkenti a fejlett és fejletlen országok közötti életszínvonalbeli különbséget, különösen vonatkozik ez az éhínség felszámolására és arra, hogy valamennyi földlakó egészséges ivóvízhez juthasson (Neményi, 2020).

A fenntartható növénytermesztés általános követelményei a robotizáció perspektívájából következőképpen foglalható össze:

- Elkerülni a talaj erózióját, szikesedését, savanyodását, és kedvezőtlen tömörödését
- Elkerülni a környezetszennyezést (Neményi, 2017).

MEZŐGAZDASÁGI CÉLÚ ROBOTOK

Egy mezőgazdasági alkalmazású robotnak, úgy ahogy minden robotnak alapvetően három fontos részegységet kell tartalmaznia (Thompson et. al., 1991).

- Információk beszerzése és feldolgozása
- Döntéshozatal
- Feladat végrehajtása



1. ábra: Egy általános célú autonóm robot-gyomirtó rendszer felépítése (Utstumo, 2018).

Figure 1: Construction of a general purpose autonomous robotic herbicide system

A mezőgazdaság területein a gyors beavatkozást is megalapozó mérési, adatgyűjtési igények kielégítésére érdekébe különböző robottechnikai megoldások születtek meg. Ezek a következő módon csoportosíthatók: – pilóta nélküli légi jármű (drónok), mobil mini robotok, – mini mobil robotok, – mérőhálózatok. Fejlesztési, illetve kísérlet fázisban vannak önjáró mintavevő és mintaértékelő robotok, például a talajjellemzők és a növényi elváltozások meghatározására.

DRÓNTECHNOILÓGIA ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI

Egy pilóta nélküli légi jármű repülése közben a felszínre merőleges felvételek elkészítése érdekében kameráját egy berendezés folyamatosan úgy mozgatja, hogy az mindig merőleges legyen a felszínre (orto felvétel). Igény szerint ettől eltérő szögállás is előállítható. A drónok alkalmazása elsősorban anyagkijuttató mezőgazdasági technológiai műveletek során (permetezés) már túllépte a kísérleti fázist. A szántóföldi monitorozás adta nagy előnyök mellett korlátok is adódnak, mivel az alkalmazott adatgyűjtési és mérési technológia nem alkalmazható a lombkorona, valamint levél alá történő betekintésre. A Tevel Aerobotics Technologies autonóm repülő robotokat fejleszt, gyümölcszedési célokra, mesterséges intelligenciával kombinálva, számítógépes felügyelettel, fejlett robottechnikával, repülőmérnöki szaktudással, magas szintű repülésirányítással és adatátvitellel, valamint szabályozással (URL₂).

A robotkarral szerelt robotok egyéb feladatokat is el tudnak végezni. Ilyen feladat lehet például a vezeték nélküli hálózat egységeinek (Internet of things, IoT rendszer) telepítése, illetve összegyűjtése, működtetése. Továbbá talaj vagy növényminták gyűjtése ill.

gyümölcs betakarítási munkák végzése stb. Gyümölcs, illetve szántóföldi zöldségbetakarítás esetében érzékelők döntenek el, hogy a termés megfelelő érési állapotban van-e, tehát betakarítható, vagy még várni kell, hogy megfelelő legyen az érés. Ugyanez történhet pl. az gyümölcszedő drónok esetében is, ill. egyéb, egyedeket betakarító korszerű szerkezeteknél. A fogókba szerelt érzékelők alapján a mesterséges intelligencia dönti el, hogy a termék az adott időben betakarítható-e. Ezzel ugyancsak paradigma váltás történik, hiszen a továbbiakban a nemesítőket nem terheli az az elvárás, hogy az adott genotípus valamennyi egyede szinte „percre” pontosan adott időben érjen be (URL₃).

A mezőgazdasági alkalmazásra kifejlesztett és gyártott mobil mikrorobotok (2. ábra) a levél, illetve lombkorona alatti területen is tudnak felmérő, monitorozó munkát végezni (Agustín *et. al.*, 2019).



2. ábra: Biológia által inspirált mikrorobot (URL₄)

Figure 2: Biology-inspired microrobot (URL₄)

Jelenleg a 6. fajkihalási krízist éljük, ami többek között azt jelenti, hogy a beporzó rovarok száma is jelentősen csökken világszerte, így Magyarországon is. Több mint 10 éve a világ vezető egyetemei és kutató intézetei mesterséges méhek fejlesztésével foglalkoznak, hogy ennek a problémának a megoldásához hozzájáruljanak. Ezek a beporzó drónok egyik növényről a másikba szállítják a pollent, és számos érzékelővel igazolják a sikeres transzfert (URL₅). Ezek a kis robotok a MI felhasználásával látnak, színeket tudnak megkülönböztetni, és szagló érzékük is van. Később ezek a repülő robotok az invazív kártevők ellen is bevetettek lesznek.

MŰHOLDAS POZICIONÁLÁS JELENTŐSÉGE

Ami a kültéri helymeghatározó rendszereket illeti, a legismertebb a globális helymeghatározó rendszer (GPS). Ez a rendszer olyan műholdak által küldött jeleket szolgáltat, amelyek a megfelelő vevőt alkalmazva, 3 vagy több jelet használ az eszköz pontos helyének meghatározásához (*Becvarik és Devetsikiotis*, 2016). Akkor merülnek fel kihívások, amikor pontosan meg kell becsülni egy az épületen belüli helyzetet azért, mert a műholdas jelek vétele nem megfelelő (*Kaplan és Hegarty*, (2006). A vezeték nélküli technológiák használatával már az épületekbe beépítve intelligens teret lehet létrehozni, amely képes reagálni a felhasználóktól érkező információkérésekre (*Ozsoy et al.*, 2013). A mezőgazdasági robot rendszerek gépüzemeltetése valós idejű korrekciót igényel, mivel a térbeli koordinátákat nagy pontossággal kell lehetőleg azonnal pontról pontra meghatározni (*Gomes et al.*, 2018). Úgynevezett real-time differenciális korrekcióval (RTK) nagymértékben növelhető a GPS adatok pontossága (*Tamás*, 2001). Lényege, hogy egyszerre legalább két helyen történik adatgyűjtés. Egyrészt ismert pozíciójú stabil földi állomáson (ún. referenciaállomáson), másrészt ismeretlen pozíciójú egyéb GPS vevőn.

Az RTK esetén a referenciaállomás kiszámítja, és rádiójelekkel továbbítja a fogott műholdak adatainak hibáit, ill. korrekcióját. Ezt a korrekciót fogja a mobil mérőállomás és felhasználja a saját pozíciójának kiszámítása során.

Az elmúlt évtizedben az RTK technológia nagy fejlődésen ment keresztül:

- Az inicializálási idő lényegesen csökkent.
- Növekedett a relatív helymeghatározás pontossága, a kezdeti 2-3 inch-ről 1 inch-re.
- Növekedett az a bázistávolság is: ez régebben 15 km volt, ma 40 km fölött is lehet (*Busics*, 2005).

GPS és RTK alapú technológiára alapozva végzett kutatást *Slaughter et al.* (2012). A vetett növények helyzetét a vetési folyamat során rögzítették térinformatikai eszközökkel. Ezt felhasználva egy olyan berendezést alkottak meg, ami a nagy pontosságú helyzet meghatározó rendszer segítségével meg tudja állapítani a már kikelt növény, ill. a tőkőz helyzetét (*Griepentrog et al.*, 2005). A berendezés a sorok végi fordulás kivitelezésére is képes, tehermentesítve így a vezetőt, valamint precízebb munkavégzés is végezhető. Így a csatlakozósorok pontos kialakítására is lehetőség van.

A MESTERSÉGES INTELLIGENCIA, GÉPI TANULÁS ALKALMAZÁSA

Számos lehetőség létezik manapság, amely elősegíti a nagy adathalmazokból és tapasztalatokból származó információk feldolgozását. Napjainkban a gépi tanulás nyújtotta lehetőségek nagy mértékű fejlődést mutatnak. A mesterséges intelligencia (MI) kutatás hatására, sok új módszert találtak ki, ami megkönnyíti a problémamegoldás folyamatát (*Jha et. al., 2019*).

1. Fuzzy logika
2. Mesterséges ideghálózatok (ANN)
3. Neuro-fuzzy logika

A mesterséges neurális hálózatokat sok alkalmazásban építették be a mezőgazdaságba a hagyományos rendszerekkel szembeni előnyei miatt. Az a neurális hálózatok fő előnye, hogy képes előrejelzést tenni az információk egymásra hatásának figyelembe vételével. Tényleges programozás helyett neurális hálózatok képezhetők. *Gliever* és *Slaughter* (2001) ilyen neurális hálózatokat használt megkülönböztetni a gyomokat a kultúrnövényektől. *Maier* és *Dandy* (2000) ugyan ilyen hálózatokat használtak a növények vízszükségletének előre jelzéséhez. A mezőgazdaságban alkalmazott robotok esetében nem csak a változó környezet jelent nagy nehézséget, hanem az is, hogy a berendezéseknek gyakorta élő, sérülékeny anyagokat kell kezelni. Az alkalmazott mesterséges intelligencia a gépi tanulás adta lehetőségeket is integrálja magába. A legtöbb mezőgazdasági robotokba a gépi tanulás alkalmazása hozzájárul az összetett feladatokat nagyobb hatékonyságú elvégzésére. Míg a szántóföldi műveletek robotizálása jelentősen fejlődik addig az erőgépek munkahelyre vonulásának teljes robotizálása még jó ideig várat magára.

KÉPFELDOLGOZÁS, MESTERSÉGES LÁTÁS

A szabadföldi termelés esetében általánosan a nagy területi volumen az ismérv. A nagyszámú befolyásoló tényezők miatt a területek bizonyos részei agrotechnikai szempontból statikusan és dinamikusan, azaz az időtől is függően, nagyon eltérőek lehetnek. A nagy területek felmérését, vizsgálatát szolgáló légi és műholdas távérzékelési módszerek már több évtizedes múltra tekintenek vissza. Az előbbi a feladatra kialakított integrált rendszerek kamerája/kamerái és a sebességmérő rendszer állandóan méri a

változó környezetet. A mesterséges intelligencia végzi el a feldolgozást és meghatározza a legmegfelelőbb beavatkozási módot.

A növényfajok azonosításában számos vizuális jellemzőt alkalmaztak, és három általános kategóriára oszthatók:

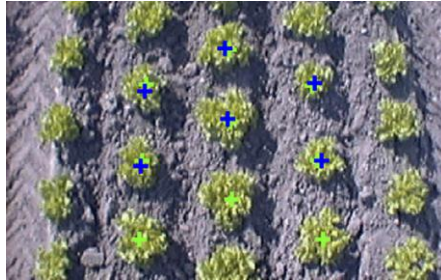
- biológiai (morfológia)
- spektrális jellemzők
- vizuális struktúra.

A legkorábbi munkák a műholdas és a levegőben lévő képek távérzékelési tanulmányai voltak. Legáltalánosabban az érzékeléshez, illetve a felvételezéshez normál színes vagy infrakamerákat alkalmaznak (*Lamb és Brown, 2001*). A valós idejű képtovábbítás is megoldott. Az utólagos képfeldolgozásban a távérzékelés kiforrott technológiai alkalmazhatók. Az infrakamerás felvételek a növényállomány monitorozásánál nagyon előnyösek. Segítségükkel többek között időben észlelhetők a növényi betegségek, megítélhető a kelési erély, vagy a felvételek megalapozottabb teszik a termésbecslést. A közvetített kép feldolgozása lehetőséget ad a csírázási, a vetési minőség egzakt megítélésére és a töeloszlás értékelésére. Az infrakamerás felvételekkel az öntözési rendellenességek, a precíziós öntözéshez az információk is jól felderíthetők. A sorvetésű növényeknél a színekövető (color tracking) képesség lehetővé teszi a soron történő végighaladást, miközben képrögzítés történik.

Elsődleges feladat a növény elkülönítése a talajtól. Erről különböző eljárásokat alkalmaznak. Az egyik leggyakrabban használt gépi látásmód a terménysorok azonosítására a Hough transzformáció. A Hough transzformáció számítási szempontból hatékony eljárás a nem folyamatos vonalak vagy görbék felismerésére, így alkalmas a természetű növény és a gyomnövény elkülönítésére, az esetleges vetési vagy csírázási hibák azonosítására is (URL_6). Ezt a technikát először betakarításnál alkalmazták 1989-ben az Egyesült Államokban arató-cséplőgépek sorvezetésére (*Marchant és Brivot, 1995*). Egy meghatározott színű tábla alkalmazásával az elkészült kép pixelei összehasonlíthatók a tábla értékeivel, így következőképpen az vagy növénynek, vagy háttérnek minősül (*Slaughter et. al. 1997*).

A terménysorok kimutatására *Tillett és Hague (1999)* infravörös szűrőt alkalmazott a növény és a talaj közötti kontraszt fokozására, így elkülönítve azokat. A későbbiekben a szerzők finomították a terménysor detektálásának módját sávszűrőt használva a sorok lokalizálásához (*Hague és Tillett, 2001*). Ezt később *Kise et al. (2005)* továbbfejlesztette

egy sztereovíziós rendszerrel, amely két RGB kamerával vizsgálja a táblát. Ennek az újításnak köszönhetően a rendszer hibája 30-50 mm között volt a növényi sorok görbülete és a haladási sebesség függvényében. A rendszer kismértékű gyommentes területet igényel, hogy elegendő információt nyerjen a sztereovíziós rendszer. *Marchant* és *Onyango* (2000) szerint a növény helyzetének meghatározásához az eredeti képet RGB színcsatornákra kell bontani, hogy csökkenteni lehessen az árnyékok okozta káros hatásokat. Az eredmény egy monokróm felvétel, amin a háttér, talaj sötétebbnek látszik, így felhasználva a kép spektrális jellemzőit is. Ezt felhasználva *Tillet et. al.*, (2008) kifejlesztett egy olyan rendszert, ami egy kamera segítségével színes képeket készít valós időben. Ezzel a detektálási eljárással azonnali gyomirtást követően 80%-kal sikerült a gyomosodás mértékét csökkenteni (3. ábra).



3.ábra: Növény számított (kék kereszt) és előre jelzett helyzete (zöld kereszt) kétdimenziós hullámokkal (*Tillet et al. 2008*)

Figure 3: Calculated (blue cross) and predicted position of plant (green cross) with two-dimensional waves (*Tillet et al. 2008*)

Más megoldással kísérletezett *Åstrand* és *Baerveldt* (2002) akik a növény beazonosításához a növények morfológiai tulajdonságait is figyelembe veszik. Ehhez két kamerát alkalmaztak. A haladási iránnyal ellentétesen elhelyezett kamera egy algoritmus segítségével felismeri a növényi sorokat. A haladási irányt a sorokra fektetett egyenes szabja meg. A kamera egy infravörös szűrővel van ellátva, ami kontrasztosabbá teszi a képet, így könnyen elkülönül a talajtól a növény. A növényi sorokat Hough transzformáció segítségével ismerik fel (4. ábra).



4.ábra: A meghatározott növényi sorokra fektetett egyenes (Åstrand és Baerveldt, 2002)

Figure 4: The amount laid on the specified plant rows (Åstrand és Baerveldt, 2002)

A kultúrnövények helyzetének megállapítását a másik RGB kamera látja el. A képeket feldolgozó rendszer minden egyes elkészült képet analizál és eldönti, hogy melyik a gyom és melyik a kultúrnövény. Az egyes képeken 19 jellemzőt vesznek figyelembe. Ezek közül 6 színi tulajdonság, mint az egyes színek szórása, és átlagértéke, 7 alak tulajdonság, mint például a felület (5. ábra).

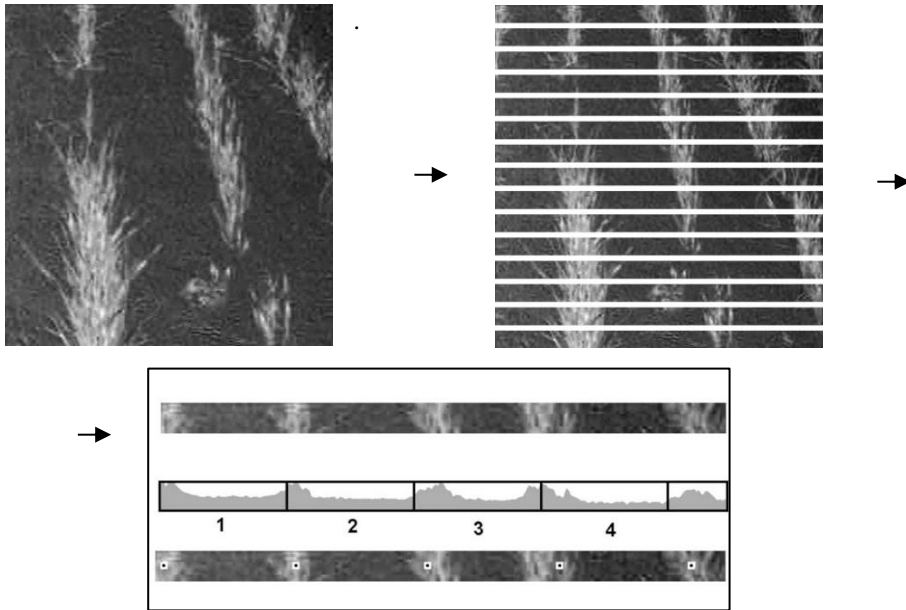


5.ábra: A kultúrnövény felismerés alakotani jellemzők által (Åstrand és Baerveldt, 2002)

Figure 5: Cultural plant recognition by formological characteristics (Åstrand és Baerveldt, 2002)

Ezzel az eljárással 97%-os pontossággal képesek a termesztett növény helyzetének megállapításra. Az eljárás hiányossága, hogy az egyes képeket szegmentáltan kell feldolgozni.

Ezzel szemben *Søgaard* és *Olsen* (2003) olyan módszert fejlesztett ki, amelynél nem szükséges a szegmentáció. Ezzel csökkentve a képek feldolgozásáért felelős program számítási igényét. A sorok középvonalának tájolását és oldalirányú helyzetének becslését súlyozott lineáris regresszióval végzik el. Színes kamerát alkalmaznak ezen folyamat során is, melynek felbontása 720×576 pixel, amit $0,5$ m/s sebességgel mozgattak a sorok felett. Fehéregyensúlyának beállításához fehér papírt használtak, így a megfelelő szürkeárnyalatú kép hozható létre. Az eljárás folytatásaként ezt a képet függőleges sávokkal felosztják több részre, így a megfelelő módszerrel meg lehet határozni a növényi sorok és az osztások metszéspontját (6. ábra). Ezek a pontok valós időben jelölik ki a sorok helyzetét.



6.ábra: A növényi sorok helyzetének valós idő meghatározása (Søgaard és Olsen, 2003)

Figure 6: Real-time determination of the position of plant rows (Søgaard és Olsen, 2003)

Legegyszerűbb esetben a bejárás során készített képfelvételzés szolgálhatja az értékelést. Ez a lehetőség már ma is rendelkezésre áll. Távlatilag egy káros gyomokra kialakított tudásbázis már egy kifinomultabb gyomfelderítést is lehetővé tehet (*Bártfai et al.*, 2018).

PRECÍZIÓS GYOMSZABÁLYOZÁS

A gyomnövények versenyeznek a kultúrnövényekkel a nedvességért, tápanyagokért és a napfényért, valamint káros hatással vannak a terméshozamokra és minőségre is (*Slaughter et. al.*, 2007). A precíziós gyomszabályozásnál figyelembe vesszük a gyomnövényzet faj szerinti összetételét a vizsgált területen. Általánosságba megállapítható, hogy a precíziós megoldások gyakorlati alkalmazásának akkor van értelme, ha a gyomelőfordulás heterogenitása miatt fennáll a lehetősége a kezelések lokális elhagyásának. Egyes kutatások megfigyelése alapján az ország számos területén kapás kultúrákban négyzetméterenként 200-300 db gyomnövényegyet regisztráltak, ami a szántóterületeink nagy gyomosodási hajlamára utal. A sűrű vetésű kultúrákban (kalászos gabonák, őszi káposztarepce stb.) a természetett növény gyomelnyomó képessége nagymértékű, emiatt ezeken a területeken érdemes a vegyszeres gyomirtás elhagyásainak lokális megoldásaival foglalkozni. A tág térállású úgynevezett kapás kultúrákban (kukorica, napraforgó, cukorrépa stb.) a fentiekben vázolt nagymértékű gyomosodás miatt más lehetőségeink adódnak a precíziós gyomszabályozás alkalmazására (*Németh et. al.*, 2007). A precíziós mezőgazdaság fogalmánál ismertetett meghatározások alapján általánosan a precíziós növényvédelem lényegét talán úgy lehet megfogalmazni, hogy olyan növényvédelmi kezeléseket jelent, melyek során csak azokon a táblarészekon történik kezelés, ahol azt a károsító egyedszáma vagy a kártétel indokoltá teszi (*Nagy*, 2004).

A precíziós gyomszabályozás feltételrendszere:

- Gyomnövények detektálása informatikai rendszerekkel
- Földrajzi helymeghatározás általában GPS rendszerrel
- Automatizált beavatkozás

Precíziós gyomszabályozás kivitelezésére két lehetőség áll rendelkezésünkre:

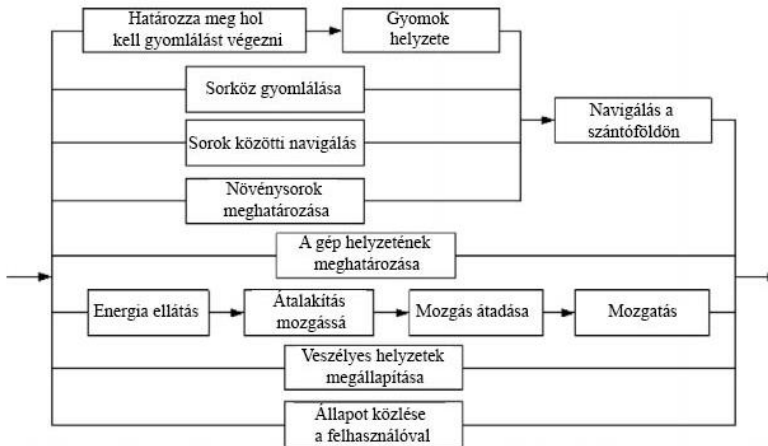
Valós idejű módszerek: a gyomnövények érzékelését követően azonnal történik a beavatkozás. Előnye, hogy automatizálható és a kezelés azonnal megtörténik. Hátránya a

kis munkaszélesség és alacsony haladási sebesség miatti kis területteljesítmény. Az eljárás korábban kis táblaméretek mellett és kertészeti kultúrákban alkalmazták, mára azonban nagyobb táblaméretek melletti kapás kultúrákban is kezd elterjedni.

Nem valós idejű módszerek: a gyomérzékelés és a kezelés nem egy időben történik. A különböző érzékelési módok felhasználásával a kapott adatokat földrajzi pozíciókhoz (GPS) rendelve utófeldolgozással adatbázis készül, majd ez alapján egy beavatkozási terv. Az utó-feldolgozós módszer előnye, hogy a kapott térképek később is felhasználhatók. Hátránya, hogy a felvételezések után rendszerint gyorsan, néhány napon belül védekezni szükséges, ezért az adatfeldolgozásra kevés az idő. Előnye továbbá, hogy a nagy tároló kapacitást igénylő művelet (pl. a gyomfajok felismerése: összehasonlítása az archívumban található fajok képeivel) nem a berendezésben történik. Az utófeldolgozás miatt a beavatkozás általában növényvédőszer kijuttatást jelent, pl. mechanikus gyomirtás kevésbé alkalmas.

Mechanikus, környezetkímélő gyomirtás, tőkzművelés

Egy autonóm robot esetében a vezérlést, vagy gyakrabban szabályozást alkalmaznak. A rendszerintegráció a két fő feladat magában foglalja az egyes kultúrnövények önálló felismerését, és elkülönítését a gyomnövényektől, az önálló navigáció és a gyomszabályozás stratégiáinak kidolgozása. Ennek a rendszerintegrációnak köszönhetően olyan robotot lehet létrehozni, amely képes önállóan navigálni, és amely érzékelő rendszerekkel van felszerelve és olyan működtető berendezéssel, amely lehetővé teszi a robot számára, hogy önállóan gyomirtást végezzen. Egy tipikus kialakítás szempontjait mutat a 7. ábra.



7.ábra: Autónom tőközművelő robotok általános követelményei

Figure 7: General requirements for car-growing robots

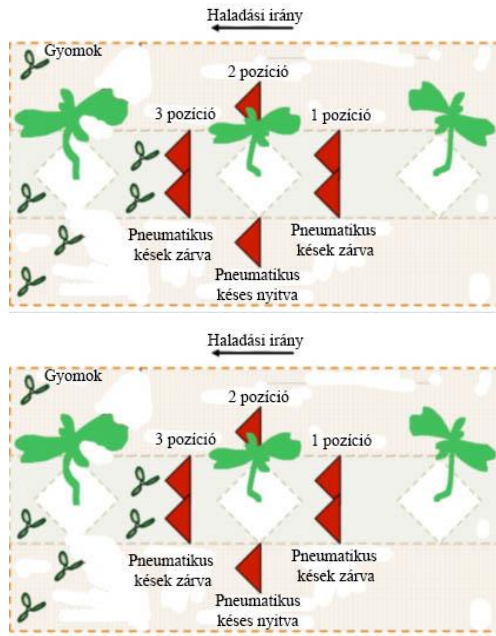
Legegyszerűbb esetben a beavatkozó szervek helyzete nem változtatható külön, ilyenkor a gyomirtás sikeressége a sorok közötti navigáláson múlik. Más kialakításoknál a kapák, forgóboronák helyzete aktuátor segítségével állítható be. Ezek az eszközök vagy alternáló, vagy forgómozgást végeznek, kapcsolatuk a talajjal általában állandó. Ezek az aktuátorok elektromos és pneumatikus valamint hidraulikus elven működőek. Forgó mozgásnál (boronáknál) villamos forgógépeket alkalmaznak, ezek általában szervo, vagy léptető motorok lehetnek. Pneumatikus berendezéseknél munkahengereket alkalmaznak. Munkájuk a növény érzékelésének pontosságától függ elsősorban, de az aktuátor beavatkozási sebessége is döntő lehet.

Tőközművelési eljárásokra első sorban kapás növényes kultúrákban van szükség. A kultúrnövények közötti gyomszabályozás nehezebb feladat, mint a sorköz művelése (Andrea et. al., 2017). Ebből fakadóan a tőközművelési eljárások ötször drágábbak lehetnek, mint a hagyományos művelési módok, és hatékonyságuk is kevesebb (Chandler, és Cooke, 1992). Thompson et. al., (1991) arra a következtetésre jutott, hogy az erőgép vontatású valós idejű gyomszabályozást megvalósító gépben nagy lehetőségek rejlenek gazdasági és környezeti hatások szemszögéből is. Ezek között sok olyan berendezés van, ami képes a gyomszabályozást nem kémiai úton ellátni, ezek között vannak a precíziós sarabolók (kapák, boronák vagy más hasonló kivitelezés)

gyomérzékelő rendszerrel és automata sorvezetővel (*Sun et al.*, 2010). Ezek az eljárások általában könnyen vezérelhetőek, és a beavatkozásra valamilyen fogazott pengéket, tárcsákat, boronákat használnak, illetve gyomkeféket is alkalmaznak, ezek a gyomokat gyökerestül tépik ki. A mechanikus rendszerek megbízhatósága általában kritikusabb, mint a vegyszeres gyomirtó rendszereké, ezért ezen rendszereket közvetlenül kell irányítani a legjobb eredmények elérése érdekében (*Rasmussen*, 2004).

Klose és Marquering (2008) olyan kukorica gyomirtásra alkalmas robotot épített, ami képes ellátni a fenti követelményeket. A rendszer felépítése öt fő részre oszlik: a robotvezérlő rendszer, a navigációs rendszer, a gyomirtó rendszer, a sebesség- és kormányvezérlő rendszer és a biztonsági rendszer. Mind az öt rendszer tartalmazza a megfelelő elektronikát, mechanikát és szoftvereket a különleges funkcionalitás érdekében. A robot mindenkori pozíciójának és a növények helyzetének meghatározására nem csak optikai és GPS, hanem akusztikus szenzort is alkalmaznak. Többféle szenzor alkalmazása nagyobb pontosság eléréséhez vezet, azonban ezeket a megfelelő módon szoftveresen kell egymáshoz hangolni.

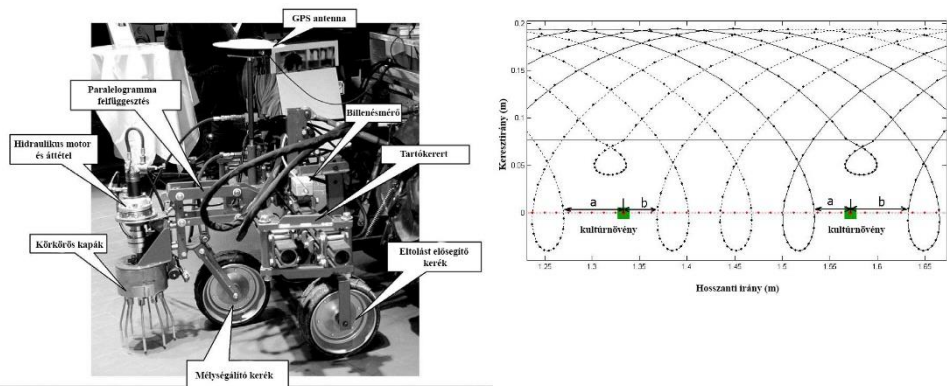
Slaughter et al. (2012) egy olyan pneumatikus kialakítású tőközművelő kultivatort hozott létre, amely pneumatikusan mozgatott kapákat használ (8. ábra). A növények helyzetét vetésükkor térinformatikai eszközökkel feltérképezték, így a tőközművelő minden kikelt növény pozícióját meg tudja állapítani amennyiben ismeri a saját helyzetét. Így képes a pneumatikus kapák megfelelő működtetésére.



8.ábra: A pneumatikus kapák egyes helyzetei a kultúrnövény elhelyezkedése alapján (Slaughter et. al., 2012)

Figure 8: Some pneumatic hoes based on the location of the crop (Slaughter et. al., 2012)

Griepentrog et al. (2006) munkájukban egy olyan mechanikus gyomirtást végző robotot készítettek, ami a beavatkozás egy forgókéses rendszerrel végzi el. A forgó rotor kapcsolata a talajjal állandó, munkája során a megfelelő helyen nyúl be a sorok közé, így egy hurkolt ciklois alakú pályán mozog. Fontos tényező a beavatkozás során a rotor forgási sebessége és átmérője, a gép haladási sebessége, a sorokhoz képesti eltolódás, a kések száma és alakja is. A forgó kések egy paralelogramma kialakítású vázra vannak rögzítve, ami lehetővé teszi a mélység beállítását, ill. a beavatkozó szerv párhuzamos elmozdulását az egyenetlen talajon. A rotor sorok közti benyúlást elektromechanikus munkahenger végzi el. A sorok közötti navigációhoz GPS rendszert használtak. Az irányítást végző szoftver fejlesztése MATLAB Simulink segítségével történt (9. ábra).



9.ábra : A rotációs kapával felszerelt töközművelő szerkezeti felépítése és a forgó kapák által leírt ciklois görbék felépítése (Griepentrog et. al., 2006)

Figure 9: Structure of the cultivator equipped with a rotary hoe and the structure of the cycloic curves described by the rotating hoes (Griepentrog et. al., 2006)

A Garford cég által kifejlesztett kultivátor több technológiát ötvöz egy professzionális gépben. A kultivátor fejlesztésénél három alapfeltétel teljesítését tűzték ki célul, e szerint a kultivátornak pontosan a sorközben, a sorok irányát tartva kell haladnia, a sorokat művelő kapákat pontosan a sorok vonalában kell pozicionálni, illetve a gépnek fel kell ismernie a kultúrnövényt és azonosítani kell a pozícióját. A vetett vagy palántázott sorok közti területet hagyományos módon rugóskapasorral műveli, míg a növények közti területet a sorokban egy forgó boronafog. A művelő tárcsa profilja és szinkronizálása a maximális művelési hatékonyság figyelembevételével lett kifejlesztve, valamint megfelelő toleranciát és sérülésmentességet biztosít esetleges oldalirányú vetési, vagy palántázási hibák esetén (10. ábra).



10.ábra: Garford sorközművelő kultivátor (URL₇)

Figure 10: Garford line-up cultivator (URL₇)

A GPS nélküli gépre szerelt RGB kamerák a kultivátor előtt 2 méter széles és két méter hosszú területet pásztáznak, másodpercenként 20 db felvételt küldenek egy számítógép felé, amely azonosítani képes a növények sorait. A gép a sorban elhelyezkedő kultúrnövényeket képes felismerni, beazonosítani és a növény körüli területet, azaz a tőközöket is képes nagy pontossággal megművelni. Ehhez a kultúrnövény levélfelületének nagyobbak kell lennie, mint a gyomnövényeké és a színárnyalatukat is megközelítőleg 540 nm, a vörösénél pedig a 620 nm hullámhosszak közelében helyezkednek el. A felvett körvonal alapján a számítógép minden növényhez hozzárendel egy virtuális középpontot és egy egyedi azonosítót. A felvételekből a szabályozó egység kielemezi és utasítja a gépet az oldal irányú sorkövetésre, valamint szabályozza a forgó boronafogak sebességét, vagyis egyedileg szinkronizálja a hidromotorokat. A szerkezet pontossága megközelítőleg 10 mm. A művelt terület aránya 98%-os, a teljes területhez viszonyítva (URL₇).

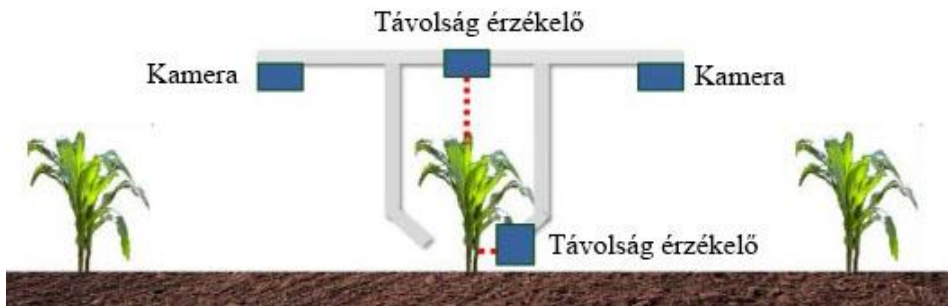
Korszerű vegyszeres növényvédelem

A nem mechanikus eljárások közül a permetezés a legelterjedtebb. Lee et al. (1999) egy olyan precíziós permetezési rendszer prototípusát fejlesztette ki, amely mesterséges látást alkalmas az azonosításra. Ez a rendszer nyolc egymástól függetlenül működő porlasztófejjel van ellátva, amelyek egy közös tartón egy vonalban helyezkednek el. Ezeket mágnesszelepek hozzák működésbe, amik 0,98 litert tudnak kijuttatni percenként. A kijuttatás helyét gépi látással létrehozott gyomnövény térkép alapján határozzák meg. Permetező rendszereket drónok esetében is alkalmaznak. Maga a permetszert tartalmazó

tartály a drón alatt helyezkedik el, alatta a permetszert kijuttató fűvóka a peszticidet lefelé szórja. (Mogili és Deepak, 2018).

A Blue River technológia a közelmúltban kereskedelmi forgalomban kapható permetezési technológia, amely mesterséges intelligenciát használ, és képesek megkülönböztetni a növényeket és a különféle gyomokat, a vegyszerfelhasználás 80 %-kal csökkenhet (Chostner, 2017). A rendszer másodpercenként 20 felvételt képez, a felvételek kiértékelése távoli szerver segítségével történik, az erőgép haladási sebesség akár 20 km/h is lehet (URL₈). Ezzel szemben A MicroDot permetező rendszer csak a levelek felületére juttatja a növényvédő szert így közel 100% hasznosulást érve el (URL₉).

Egy hasonló kialakítású rendszert hozott létre Klose és Marquering (2008). A permetező szórófejek a szivattyú felől érkező permetszert áramlását mágnes szelepekkel lehet vezérelni. Az ilyen permetező kialakítása azért is előnyös, mert külön-külön is kapcsolhatóak a porlasztó fejek. Erre azért lehet szükség, mert ha a rendszer nem azonosít növényt, akkor a kijuttatást meg kell szüntetni. A gyomirtás elvégzéséhez permetező rendszert alkalmaznak, ami az egyes tőközökbe juttatja be a permetszert (11. ábra).

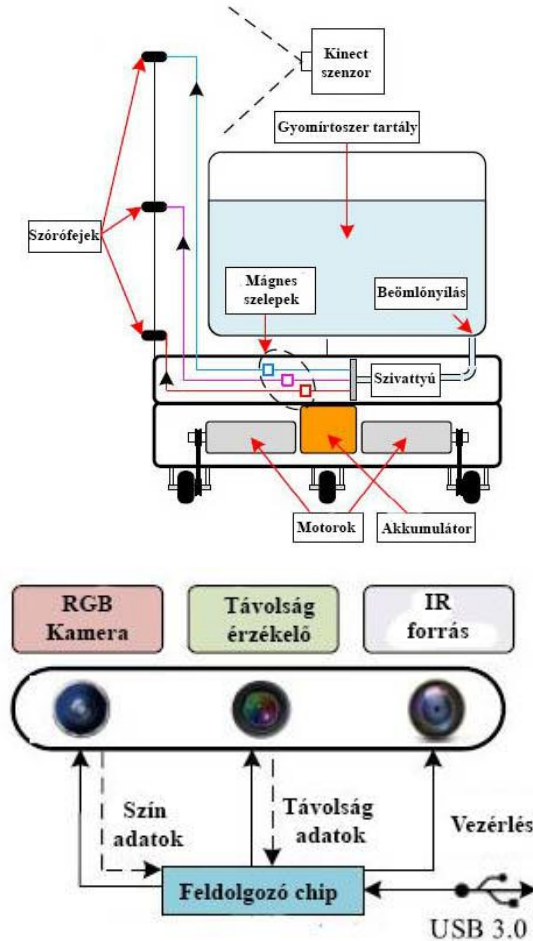


11. ábra: Permetező rendszer érzekelőinek elhelyezkedése (Klose és Marquering, 2008).

Figure 11: Location of spray system sensors (Klose és Marquering, 2008).

Chen és Meng (2018) egy permetező robotot készített el. A beavatkozást mágnesvezérlésű szórófejek végzik el. Az érzékelésre és feldolgozásra nem alkalmaztak speciálisan erre a feladatra tervezett berendezéseket. Az információk feldolgozását egy nyílt forráskódú Arduino fejlesztőplatformot használtak. A növények érzékelése különleges módon egy Kinect szenzorral történt. Ez egy speciális mozgásérzékelő eszköz,

amit videojáték-konzolokhoz fejlesztettek ki. Az érzékelő többféle információt is tud rögzíteni RGB kamerával, infravörös szenzorral, és távolság mérő érzékelővel. Ezt aztán az Arduino dolgozza fel és a rögzített kép és távolság alapján egy három dimenziós képet hoz létre. (12. ábra).



3. ábra: Permetező robot szerkezeti elemei (Chen és Meng, 2018)

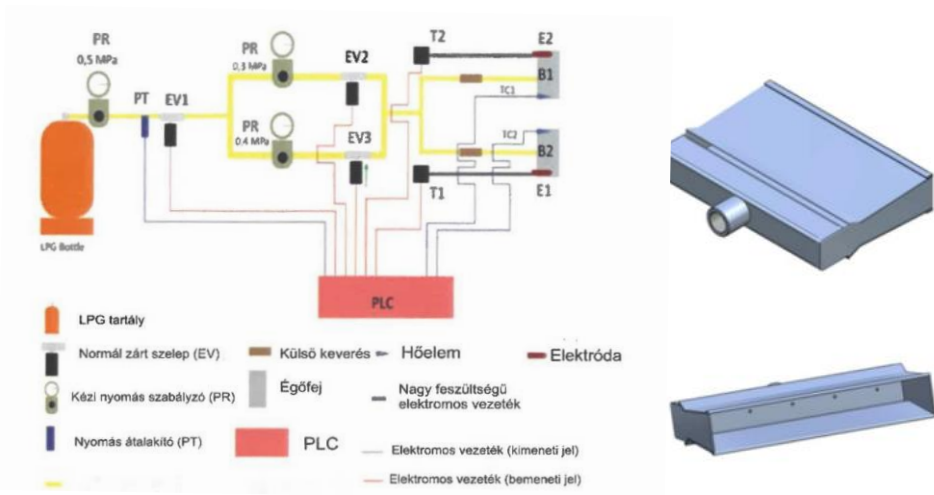
Figure 12: Spraying robot structural elements (Chen és Meng, 2018)

Fizikai elven alapuló, környezatkímélő gyomirtás

A fizikai eljárások közül a gyomperzselés is elterjedt. Hatékonysága 80-90 % körüli. Akkor is alkalmazható, ha a talaj túl nedves a mechanikus beavatkozáshoz.

A lángszórával történő gyomirtás nem új találmány. Először 1852-ben az USA-ban jegyezték be. Akkor petróleumot égettek el, de ennek felhasználása nehézkes volt, ezért

alkalmazása feledésbe merült. A fejlesztés a II. világháború után kapott nagyobb lendületet, amikor a bután gázt kezdték a készülékben alkalmazni. Hatásmechanizmusa a következő: a növényi sejteket legalább 60-70 °C-ra kell felmelegíteni a lángsugárral. Az első gyomszabályzó gépet, a mechanikus és termikus eszközök kombinációjával, 1900-ban szabadalmaztatták, és idővel más prototípusokat is elkészítettek a kutatók (Neilson, 2012). Ezek az eszközök kombinálják a nyílt láng és az infravörös hőkezelés nyújtotta lehetőségeket. A nyílt lángot manapság LPG gázból állítják elő, igaz akadnak hidrogénnel működő eszközök is. A láng alakja prizma, csonka gúla lehet. A láng mérete jól szabályozható, előállítása könnyű. Az LPG munka közbeni hőmérséklete 500-700°C lehet, ilyen esetben a megfelelő behatási idő alatt a talajfelszín alatt 5cm-rel a hőmérséklet elérheti a 150°C-ot is. A kezelés környezetbarát mivel az égés mellékterméke csak víz és széndioxid, a talaj felszínét nem károsítja. A kialakított égőfejek általában plusz levegő bejutási lehetőséggel vannak ellátva, elősegítve a jó égés kialakulását (13. ábra) (Raffaell, et. al., 2015).



13. ábra: Gyomperzselők elvi felépítése, alkalmazott égőfej kialakítás (Raffaell, et. al., 2015).

Figure 13: Principled construction of weed scorches, applied burner design (Raffaell, et. al., 2015).

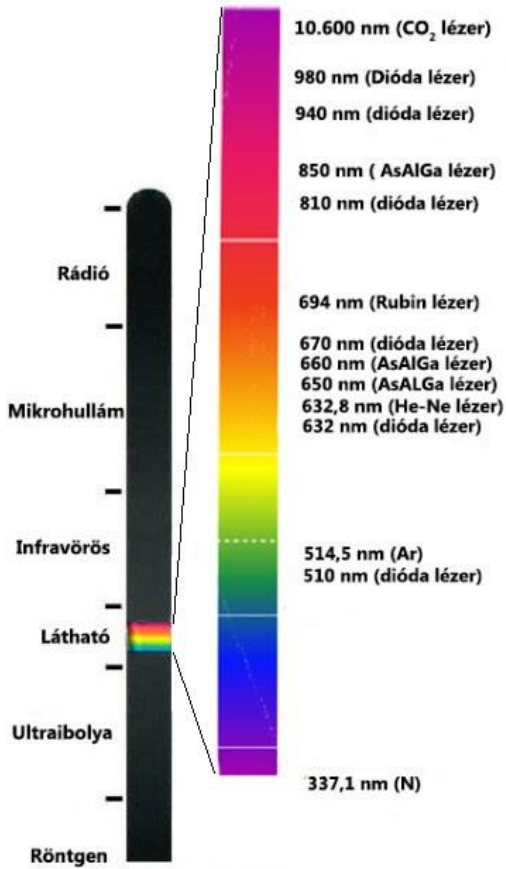
Az égőfejek PLC (Programozható logikai vezérlő) által vezéreltek. Ezen berendezések esetében problémát jelent a gáz hőmérsékletének és nyomásának állandó értéken való tartása, ami kritikus szabályozási feladat lehet. Ezen felül az égő gáz és levegő (oxigén) adagolása, amely tökéletes égés elérése miatt fontos.

A nagy feszültség okozta elektromos kisülés is képes a gyomnövények elpusztítására. *Blasco, et. al., (2002)* olyan elektródákat alkalmaztak, amelyek 15 kV-os elektromos kisülést tudnak létrehozni az áramerősség pedig 30 mA. Növények egyes leveleire 200 ms behatási idő alatt, kis levélfelületnél a határfok 100%-os volt.

Az elektromágneses spektrum hullámai is használhatóak gyomszabályozásra. Az infravörös sugaraktól elindulva egészen a látható fényen keresztül az ibolyán túli fényig vannak ismert eljárások. Az alkalmas módszerek egyik az infravörös sugárzás is. Általában a perzseléses technológiával együtt szokták alkalmazni. A gáz égése során keletkezett hő hasznosul infravörös sugarak formájában. A gáz üzemű égőfej ebben az esetben csupán felmelegíti a berendezésen található kerámia lapot mely a nagy hő hatására intenzív infravörös sugárzást közvetít a növények felé. Az infravörös sugarak által keltett hőhatás kevesebb, mint a perzselésnél, ezért kevésbé hatékony (*Parish, 1989*). Ritkán használt eljárás.

Mikrohullámokat is alkalmazzák. A 300 Mhz és 300 GHz közötti frekvenciájú hullámok keltette dielektromos hatás a növényekben lévő vizet felmelegíti, ami elpusztítja azt (*Sartorato, et. al., 2006*). Fél perces behatási idő alatt a víz hőmérséklete a növényekben elérheti a 80°C-ot.

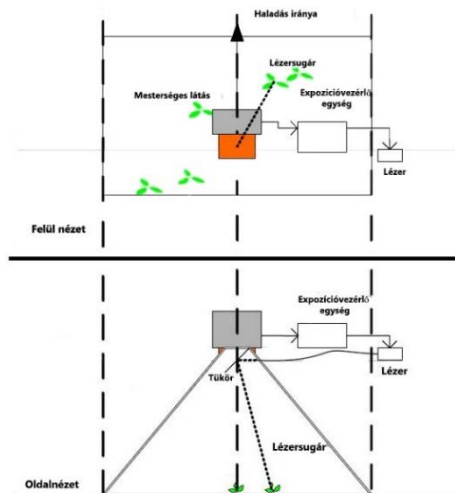
Ibolyántúli fényt is alkalmaznak a gyomszabályozásra. Nagy energiájú sugárzást alkalmaznak, amelyek így nagyfokú károsodást szenvednek el (*Utstumo, et. al., 2018*). Nagyobb létjogosultsággal rendelkezik a lézerefény. *Wilde et. al., (1969)* alkalmazott legelőször rubint, valamint He és Ne lézereket a mezőgazdaságban. Többféle lézer is szóba jöhet, például a közeli infravörösben vagy ibolyántúli fényben működő lézereket, de a CO₂ lézer tűnik a leghatékonyabbnak (*14. ábra*).



14. ábra: A mezőgazdaságban alkalmazott lézerek hullámhossz tartományai (Wilde et. al., 1969).

Figure 14: Wavelength ranges of lasers used in agriculture (Wilde et. al., 1969).

A lézerfény növényekre gyakorolt legfontosabb paramétere a hullámhossz, az intenzitás, a dózis, a behatási idő és hogy folyamatos vagy pulzáló fényt alkalmaznak. Heisel et. al. (2001) 1 mm növényi szárt sikeresen vágott el lézerfény alkalmazásával, számításaik szerint a vágáshoz 150 J energia szükséges milliméterenként. Solvejg et. al. (2006) kísérletükben a gyomnövényt mesterséges látással ismerik fel a lézerfényt tükrök segítségével irányítják a növényre. A lézerdióda által kibocsájtott fénynyalábot különböző átmérőkben, és behatási időkből vetítették a növényekre (15. ábra).



Lézer	Átmérő (mm)	Behatási idő (s)	Energia (J)
V, 532 nm	0,9	1	5
	1,8	1	5
W, 810 nm	1,2	1	90
	2,4	1,2	113

4. ábra: Gyomirtás lézertény segítségével, alkalmazott lézerek (Solvejg et. al. 2006).

Figure 15.: Weed control with the help of laser light, applied lasers (Solvejg et. al. 2006).

Kísérletük alapján megállapították, hogy azonos idő alatt a leghatékonyabb az 5W, 532nm hullámhosszú lézer volt, mely 1,8 mm átmérőjű körben vetült a növényre.

A talajgőzölés alapelve, hogy körülbelül 10 cm mélyen a talajba gőzt préselünk, ami ott oly módon fejt ki hatását, hogy elpusztít szinte minden növényt, kártevőt és baktériumot. A talaj gőzölés nem csak gyomszabályozási, hanem talajfertőtlenítési eljárás is egyben. A talajt a gőzölő eszköz körülbelül 70-100°C-ra melegíti fel. Számos pozitívhatása mellett azonban ennek a gépnek vannak negatív hatásai is, mert elpusztítja a hasznos talajflórát is mivel az eljárás nem szelektív (Miller et. al., 2014).

Létezik a magas hőmérsékleten való gyomszabályozás ellentéte is amikor fagypontra alá visszük a növény hőmérsékletét, így az a továbbiakban életképtelen lesz. A fagyasztó hatást folyékony nitrogénnel vagy szárazjéggel érik el. Manapság ez a módszer még mindig gazdaságtalan, ezért ritkán használják (Pannacci, et. al., 2017).

KÖVETKEZTETÉSEK

A robotok és a robottechnológia fejlődésével úgy, mint az élet minden területén úgy a mezőgazdaságban is nagyfokú átalakulás fog végbe menni. Az eddig kialakított rendszereket felváltják az emberi beavatkozást nem igénylő autonóm rendszerek, amelyek nem csak egy célterületre, specifikusan lesznek használhatóak, hanem saját műszerparkkal lesznek felszerelhetők mobil rendszerűen. A ma használatban lévő robosztus nagy energiafogyasztású berendezéseket (pl. arató-cséplőgép) felváltják a kisméretű berendezések, amelyek az adott munkafolyamat esetleges megosztásával fognak operálni. A területteljesítmény tényezők és a fenntarthatóság szempontjainak figyelembe vételével inkább a robot rajok, „master-slave” kapcsolatban fognak együtt kooperációban dolgozni (URL₁₀). A begyűjtött információk kronologikusan visszamenőlegesen is elérhetőek lesznek „big data” adathalmazok felhasználásával, amelyek a terepen, szántón kihelyezett stabil és mobil helyzetű mérőállomások adataival kiegészítve on-the-go feldolgozásával az MI adta lehetőségek felhasználásával fog adaptívan beavatkozni, végre hajtani a feladatát.

APPLICATION POSSIBILITIES OF ROBOT TECHNIQUE IN ARABLE PLANT PROTECTION.

AMBRUS BÁLINT

Széchenyi István University, Faculty of agricultural and Food Sciences, Department of Biosystems and Food Engineering, Mosonmagyaróvár

SUMMARY

The author presents the characteristics of robots used in agriculture, including plant protection, as well as the possibilities of robot technology and the possibilities provided by robot technology. It places particular emphasis on the analysis of sustainability criteria. The most critical factor is the reduction of the use of synthetic pesticides and chemicals replacement by physical procedures. This knowledge helps the paradigm shift in the automatization and robotization of agricultural work. The future belongs to small, smart,

interconnected, light machines. However, their properties raise moral and, within that, a number of ethical, management and social issues, both in the operation and in the design and manufacture of the machines working in the swarm. The future also belongs to the super-intelligent machines in this field, which will be able to improve themselves including software and hardware too. The dissertation also draws attention to the fact that a paradigm shift is needed in the sense that basic machines must be standardized, ie the design of a robot should not start from the basics, but can also use previously developed applications. A good example of this is From Toy to Tool: FTtT. Industrial robots offer many opportunities for innovation, but at the same time adapting this knowledge and experience to the natural environment poses serious challenges. Due to the specific nature of agricultural production, the knowledge and solutions accumulated in the field of robotics in the industry can only be partially utilized here, and in most of the individual production areas special solutions are also needed. It is likely that the robotization of agriculture will also require the development of new organizational and organizational structures. The article also helps with this.

Keywords: robot, robotics, plant protection, GPS, RTK, MI, drone

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését a Tématerületi Kiválósági Program - 2019 (TUDFO/51757/2019-ITM) számú projekt támogatta. Köszönetemet szeretném kifejezni témavezetőimnek Prof. Dr. Neményi Miklós akadémikus úrnak és Dr. Teschner Gergely adjunktus úrnak, iránymutatásuk, szakmai segítségük nélkül ezen szemle cikk nem jöhetett volna létre. Továbbá köszönetemet szeretném kifejezni szakmai segítségéért Dr. Nyéki Anikó adjunktus asszonynak.

IRODALOM

- Amobi, O.* (2019): Introduction to robotics. Unirobotica Inc., Pasadena
- Åstrand, B. - Baerveldt A.* (2002): An Agricultural Mobile Robot with Vision-Based Perception for Mechanical Weed Control. *Autonomous Robots*. 13, 21–35.
- Bártfai Z. - Blahunka Z. - Bognár I. - Faust D.* (2018): Robotok a mezőgazdaságban. *Mezőgazdasági Technika*. 59, (10) 2-7.

- Becvarik, M., Devetsikiotis, M.* (2016): Modeling of user quality of experience in location aware smart spaces. Digital Media Industry & Academic Forum (DMIAF), 207–212.
- Blackmore, S.* (2017): Professor Simon Blackmore interview robotics in agriculture (Tharsus). Landwards Volume 72. (2).
- Blasco, J. - Aleixos, N. - Roger, J. M. - Rabatel, G. - Molto, E.* (2002): Robotic weed control using machine vision. Biosystem Engineering. 83, (2) 149-57.
- Busics Gy.* (2005): Alappontmeghatározás RTK-val. Geomatikai Közlemények, VIII. kötet. Sopron
- Chandler, J. M. - Cooke, F., T.* (1992): Economics of cotton losses caused by weeds. Weeds of Cotton: Characterization and Control. The Cotton Foundation, Memphis.
- Chen, T. - Meng, F.* (2018): Development and Performance Test of a Height-Adaptive Pesticide Spraying System, IEEE Access. 6, 12342-12350.
- Chostner, B.* (2017): See & Spray: The Next Generation of Weed Control. 24, (4) 4-5.
- Gliever, C. - Slaughter, D.C.,* (2001): Crop versus Weed Recognition Artificial neural networks: Neural Network Plant Recognition for Vision Based Robotics Weed Control. Proceeding of the ASAE conference
“Real-Time Image Applications”, Sacramento.
- Gomes, A. - Pinto, A. - Soares, C. - Torres, J.M. - Sobral, P. – Moreira, R. S.* (2018): Indoor Location Using Bluetooth Low Energy Beacons. Trends and Advances in Information Systems and Technologies. 565-580.
- Griepentrog, H.W. - Nørremark, M. - Nielsen, H. - Blackmore, S.* (2005): Seed mapping of sugar beet. Precision Agriculture. 6, (2), 157–65.
- Griepentrog, H.W. - Nørremark, M. - Nielsen, J.* (2006): Autonomous intra-row rotor weeding based on GPS. The Royal Veterinary and Agricultural University Department of Agricultural Sciences, Denmark.
- Heisel, T. - Schou, J. - Christensen, S. - Andreasen, C.* (2001): Cutting weeds with a CO₂ laser. Weed Research. 41, (1) 19–29.
- Jha, K. - Doshi, A. - Patel, P. – Shah, M.* (2019): A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence, Artificial Intelligence in Agriculture. 2, 1-12.
- Kaplan, E. - Hegarty, C.,* (2006): Understanding GPS Principles and Applications. Second edn. Artech House, Norwood.
- Kise, M. - Zhang, Q. - Rovira Maïs, F.* (2005): A stereovision-based crop row detection method for tractor-automated guidance. Biosystems Engineering. 90 (4), 357–367.

- Klose, R. - Marquering, J.* (2008): Weedy – a sensor fusion based autonomous field robot for selective weed control. *Agricultural engineering; Land-Technik.* 167-172.
- Lamb, D.W. - Brown, R.B.* (2001): Remote-sensing and mapping of weeds in crops. *Journal of Agricultural Engineering Research.* 78, (2) 117–125.
- Láng I.* (2001): Lesz-e új a nap alatt a környezetvédelemben? *Magyar Tudomány.* 162, (12) 1415–1422.
- Lee, W.S. - Slaughter, D.C. - Giles, D.K.* (1999): Robotic weed control system for tomatoes. *Precision. Agriculture.* 1, 95–113.
- Maier, H.R. - Dandy, G.C.* (2000): Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: a review of modeling issues and applications. *Environmental Modeling & Software.* 15, (1) 101–124.
- Marchant, J.A. - Brivot, R.* (1995): Real-time tracking of plant rows using a Hough transform. *Real-time Imaging* 1, (5) 363–371.
- Marchant, J.A. - Onyango, C.M.* (2000): Shadow invariant classification for scenes illuminated by daylight. *Journal of the Optical Society of America.* 17, (11) 1952-1961.
- Miller, T.C. - Samtani, J. B. - Fennimore, S.A.* (2014): Mixing steam with soil increases heating rate compared to steam applied to still soil. *Crop Protection.* 64, 47-50.
- Mogili, U.M.R. - Deepak, B.B.V.L.* (2018): Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture. *Procedia Computer Science.* 133, 502–509
- Nagy S.* (2004): A gyomfelvételezési módszerek fejlesztése a precíziós gyomszabályozás tervezéséhez, Phd értekezés. Nyugat-magyarországi Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar.
- Neilson, B. D.* (2012): The Integration of Propane Flaming and Mechanical Cultivation for Effective Weed Control in Agriculture. University of Nebraska-Lincoln, PhD disszertáció.
- Neményi M.* (2017): Thoughts and questions about the sustainability of agriculture in the modern digital age: theoretical and practical approach. pp. 11-40.
- Neményi M.* (2020): Az agrárium és az ökológiai fenntarthatóság I. rész: globális megközelítés, a gazdagok felelőssége. *Magyar Tudomány.* 181, (129) 1665–1673.
- Németh T. – Neményi M. – Harnos Zs.* (2007): A precíziós mezőgazdaság módszertana. MTA TAKI kiadó, Budapest.
- Ozsoy, K. - Bozkurt, A. - Tekin, I.* (2013): Indoor positioning based on global positioning system signals. *Microwave Optical Technology Letters.* 55, 1091–1097.

- Pannacci, E. - Lattanzi, B. - Tei, F.* (2017): Non-chemical weed management strategies in minor crops: A review. *Crop Protection*. 96, 44-58.
- Parish, S.* (1989): Weed control testing the effects of infrared radiation. *The Agricultural Engineer*. 44, 53-55.
- Peruzzi, A. - Martelloni, L. - Frascioni, C. - Fontanelli, M. - Pirchio, M. - Raffaelli, M.* (2017): Machines for Non-Chemical Intra-Row Weed Control in Narrow and Wide-Row Crops: A Review. *Journal of Agriculture Engineering*. 45, (2) 8-12.
- Raffaelli, M. - Frascioni, C. - Fontanelli, M. - Martelloni, L. - Peruzzi, A.* (2015): LPG burners for weed control. *Applied engineering in agriculture*. 31,717-731.
- Rasmussen, I.A* (2004): The effect of sowing date, stale seedbed technique, row width and mechanical weed control on weeds and yields of organic winter wheat. *Weed Research*. 44, 12-20.
- Sáeza, A. - Negrib, P. - Vielc, M. – Aizena, M.A.* (2019): Pollination efficiency of artificial and bee pollination practices in kiwifruit. *Scientia Horticulturae*. 246, 1017-1021.
- Sartorato, I. - Zanin, G. - Baldoin, C. - Zanche, C.D.* (2006): Observations on the potential of microwaves for weed control. *Weed Research*. 46, .1-9.
- Slaughter, D.C. - Chen, P. - Curley, R.G.* (1997): Computer vision guidance system for precision cultivation. *American Society of Agricultural Engineers paper 97*, 1076-1079.
- Slaughter, D.C. - Giles, D.K. - Downey, D.* (2007): Autonomous robotic weed control systems: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*. 61, (1) 63-78.
- Slaughter, D.C. - Ruiz, M. P. - Fathallah, F. - Upadhyaya, S. - Gliever, C. J. - Miller, B.* (2012): GPS-Based Intra-Row Weed Control System: Performance and Labor Savings. *Automation Technology for Off-Road Equipment. proceedings of the 2012 ATOE Conference 10-11 July, 2012 Valencia, Spain.*
- Søgaard, H. T. - Olsen, H. J.* (2003): Determination of crop rows by image analysis without segmentation, *Computers and Electronics in Agriculture*. 38, (2) 141-158.
- Solvejg, K.M. - Bak, T. - Svend, C. - Per, K.* (2006): The Effect of Laser Treatment as a Weed Control Method, *Biosystems Engineering*. 95, (4) 497–505.
- Sun, H. - Slaughter, D.C. - Pérez Ruiz, M. - Gliever, C. - Upadhyaya, S.K. - Smith, R.F.* (2010): RTK GPS mapping of transplanted row crops. *Computers and Electronics in Agriculture*. 71, (1) 32-37.
- Tamás J.* (2001): *Precíziós mezőgazdaság elmélete és gyakorlata. Mezőgazdasági szaktudás Kiadó, Budapest.*

Thompson, J.F. - Stafford, J.V. - Miller, P.C.H. (1991): Potential for automatic weed detection and selective herbicide application, *Crop Product.* 10, (4), 254–259.

Tillett, N. D. - Hague, T. (1999): Computer-Vision-based hoe guidance for cereals - an initial trial. *Journal of Agricultural Engineering Research* 74, (3) 225-236.

Tillett, N. D. - Hague, T. (1999): Computer-Vision-based hoe guidance for cereals - an initial trial. *Journal of Agricultural Engineering Research* 74, (3) 225-236.

Tillett, N.D - Hague, T. (2001): A bandpass filter-based approach to crop row location and tracking, *Mechatronics.* 11, (1) 1-12.

Tillett, N.D. - Hageua, T. - Grundy, A.C. - Dedousis, A.P. (2008): Mechanical within-row weed control for transplanted crops using computer vision. *Biosystems Engineering.* 99, (2) 171-178.

Utstumo, T. - Urdala, F. - Brevika, A. - Dørum, N. - Overskeida, Ø. - Berge, T.W. - Gravdahl, J.T. (2018): Robotic in-row weed control in vegetables. *Computers and Electronics in Agriculture* 154, 36–45.

Wilde, W.H. A. - Parr, W. H. - McPeak, D. W. (1969): Seeds bask in laser light. *Laser Focus.* 5, (23) 41-42.

URL1:https://hu.wikipedia.org/wiki/A_robotika_h%C3%A1rom_t%C3%B6rv%C3%A9nye

URL2:https://www.agroinform.hu/gepeszet/gyumolsszedo-dronba-fektet-vagyonokata-kubota-47574-001?utm_source=feedly&utm_medium=organic&utm_campaign=HIRpromo&utm_content=4757

URL3: <https://www.ofc.org.uk/sites/ofc/files/papers/prof-simon-blackmore-presentation.pdf>

URL4: <https://tudomanyplaza.hu/mikrorobotok/>

URL5: <https://internetofbusiness.com/walmart-files-patent-autonomous-bees/>

URL6: http://mialmanach.mit.bme.hu/erdekessegek/nem_jellemzo_alapu_alakzatfelismero_algoritmusok,

URL7: <https://garford.com/products/robocrop-inrow-weeder/>

URL8: <https://medium.com/the-coleman-fung-institute/blue-river-technology-how-robotics-and-machine-learning-are-transforming-the-future-of-farming-f355398dc567>

URL₉: <https://www.ofc.org.uk/sites/ofc/files/papers/prof-simon-blackmore-presentation.pdf>

URL₁₀: <https://www.realagriculture.com/2020/10/fendt-rolls-out-new-generation-of-small-xaver-field-robots/>

A szerző címe – Adress of the author:

AMBRUS Bálint

Széchenyi István Egyetem,

Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, Biológiai Rendszerek és Élelmiszeripari

Műszaki Tanszék,

H-9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

E-mail: ambrus.balint@sze.hu



**A TEHÉNTÉJ FŐ KAZEIN ÉS SAVÓFEHÉRJE FRAKCIÓINAK
KVALITATÍV ÉS KVANTITATÍV MEGHATÁROZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI
ELEKTROFORETIKUS MÓDSZEREKKEL ÉS NAGYHATÉKONYSÁGÚ
FOLYADÉKKROMATOGRÁFIÁVAL**

BUZÁS HENRIETTA^{1,2} - SZAFNER GÁBOR² - KOVÁCS ATTILA JÓZSEF¹

¹Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar,
Mosonmagyaróvár,

²Magyar Tejgazdasági Kísérleti Intézet Kft., Mosonmagyaróvár

ÖSSZEFOGLALÁS

A tehéntejben átlagosan 3,3% valódi fehérje található, amely a tejalkotók közül az egyik legértékesebb komponens. A tejfehérje egy heterogén komplex peptid csoport, 90-95%-ban hat fő fehérjefrakció, az α_{S1} -kazein, α_{S2} -kazein, β -kazein, κ -kazein, α -laktalbumin, β -laktoglobulin alkotja. A tejben található fehérjék sokféleségét tovább fokozza a genetikai polimorfizmus, valamint a poszttranszlációs módosulások okozta foszforiláció, glikolizáció és a proteolízis.

Számos tanulmány igazolta, hogy az egyes frakciók mennyisége és relatív aránya, bizonyos allélok előfordulása és a különböző a poszttranszlációs módosulások hatással lehetnek a tej fizikai-kémiai, táplálkozásélettani, valamint technológiai tulajdonságaira. Ezért az egyes tejfehérje frakciók pontos ismerete nem csak a tejipar, hanem a táplálkozástudomány számára is kulcsfontosságú.

Az egyes tejfehérje frakciók extrakciója, kvalitatív és kvantitatív meghatározása kihívást jelent. Az elmúlt három évtizedben számos publikáció jelent meg a kazein és savófehérje frakciók elektroforetikus és nagyhatékonyságú folyadékkromatográfiás vizsgálatával kapcsolatban, ezek közül a leggyakrabban alkalmazott módszerek a gélelektroforézis különböző formái, a kapilláris zónaelektroforézis (CZE), a fordított

fázisú folyadékkromatográfia (RP-HPLC) és a legújabb mikrofluid „lab on a chip” technika. A szemlecikk célja a tejben található fő fehérje frakciók jellemzése, és a leggyakabban alkalmazott vizsgálati módszerek ismertetése.

Kulcsszavak: tejfehérje, kazein, savófehérje, HPLC, PAGE, Lab on a chip, CZE

BEVEZETÉS ÉS IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Tehéntej fehérjefrakciói

A tehéntej átlagosan 3,3% valódi fehérjét tartalmaz (Swaisgood 1992, Csapó és Csapóné 2002). A tejben található fehérjéket 90-95%-ban négy kazein frakció (α_{S1} -kazein, α_{S2} -kazein, β -kazein, κ -kazein) és két savófehérje frakció (α -laktalbumin, β -laktoglobulin) alkotja (Heck et al. 2009, Holland et al. 2010). A fennmaradó 5-10%-ot kis koncentrációban előforduló frakciók alkotják, mint például a szérum albumin, γ -kazeinek, proteóz-pepton, immunglobulinok, valamint a laktoferrin (Farrell et al. 2004).

Kazein fehérjék

A kazein fehérjék a foszfoproteinek heterogén csoportja, amelyek a nyers sovány tehéntejből (*Bos genus*) 20 °C-on 4,6-os pH-értéken kicsapódnak (Jennes et al. 1956). Aminosav szekvencia alapján négy fő kazein frakciót, α_{S1} -kazein (α_{S1} -CN), α_{S2} -kazein (α_{S2} -CN), β -kazein (β -CN), κ -kazein (κ -CN) különböztetünk meg (Farrell et al. 2004). Ezek egymáshoz viszonyított arányáról általánosságban elmondható, hogy 4:1:4:1 (Walstra 1999, Farrell et al. 2004, Fox és Brodkorb 2008, Wang et al. 2009). Elektroforézissel végzett kísérletekben a négy kazein frakció mellett a γ -kazeint (γ -CN) is fő kazein frakcióként említik (Clayden et al. 2001). A γ -CN a β -CN különböző C terminális szegmensei, amelyek a tejben található natív plazmin enzim proteolitikus hasításából származnak (Groves 1969, Ostersen et al. 1997, Kaminski et al. 2007).

Az egyes kazein frakciók viszonylag kisméretű fehérjék, molekulatömegük 20-25 kDa (kilodalton), tejben azonban aggregátumokba tömörülnek, kisebb-nagyobb méretű, gömb alakú micellákat képeznek (Dalgleish 1992, Walstra 1999). A micellák 92% fehérjét és 8% kis molekulatömegű szervesen sókat, elsősorban kalcium-foszfátot tartalmaznak. A

micellák átmérője átlagosan 120 nm (50-500 nm) (Fox és Brodkorb 2008). A kazein fehérjék harmadlagos és negyedleges szerkezete hiányzik, ezért melegítés hatására nem denaturálódnak (Fox és McSweeney 1998), azonban a 140 °C-ot meghaladó hőkezelés alkalmazása esetén az egyes frakciók fokozatosan oldhatatlanná válnak (Singh 1995). A kazein frakciók további tulajdonsága, hogy a pH-ra érzékenyek, ezáltal 20 °C hőmérsékleten az izoelektromos ponthoz közeledve kicsapódnak (Walstra 1999).

Savófehérjék

Savófehérjéknek nevezzük azokat a fehérje szegmenseket, amelyek savas kicsapás után is oldhatóak maradnak (Huppertz 2013). A két fő savófehérje frakció a β -laktoglobulin (β -LG) és az α -laktalbumin (α -LA), arányuk a tehéntejben 3:1 (Swaisgood 1982). A két frakció a savófehérje megközelítőleg 80%-át alkotja. A savófehérjék globuláris fehérjék, másodlagos és harmadlagos szerkezettel rendelkeznek, így hőérzékenyek (Kinsella és Morr 1984, Ng-Kwai-Hang és Grosclaude 2003, Farrell et al. 2004). Az α -laktalbumin már 63-67 °C-on, a β -laktoglobulin 74-77 °C-on denaturálódik (Paulsson és Dejmek 1990). További jellemzőjük, hogy hidrofóbbak, mint a kazeinek (Ng-Kwai-Hang 2002).

Az fő tejfehérje frakciók mennyiségét befolyásoló tényezők

A fő tejfehérje frakciók mennyisége és egymáshoz viszonyított aránya nem állandó, ezeket elsősorban a genetikai tényezők határozzák meg (Ng Kwai Hang et al. 1987, Groen et al. 1994, Bobe et al. 1999, Heck et al. 2009, Gustavsson et al. 2014). Emellett befolyásolja a laktációs stádium (Ostersen et al. 1997, Gellrich et al. 2014), a tehen egészségi állapota (Verdi et al. 1987), a fajta (Mackle et al. 1999, Auldist et al. 2004, Poulsen et al. 2016), és évszak szerint is változatosságot mutatnak (O'Brien et al. 1999, Bernabucci et al. 2002, Bernabucci et al. 2014). Ez utóbbi azzal magyarázható, hogy az állatok a melegebb hónapokban általában kisebb fehérjetartalmú tejet termelnek, nagyobb esszenciális aminosav-tartalommal (Csapó és Csapóné 2002).

Tejfehérje frakciók genetikai polimorfizmusa

A kazeinek és a savófehérjék genetikai polimorfizmusa igazolt (Farrell *et al.* 2004). A kérődzők tejében található fehérjék több mint 95 százalékát 6 szerkezeti gén kódolja (Martin *et al.* 2002).

A kazein frakciókat (α_{s1} -CN, β -CN, α_{s2} -CN és κ -CN) négy polimorf gén (CSN1S1, CSN2, CSN1S2 és CSN3) kódolja (Ferretti *et al.* 1990, Threadgill és Womack 1990). A négy gén adott sorrendben helyezkedik el a kazein-gén klaszter 6. kromoszóma 250 kilobázis hosszúságú szakaszán (Rijnkels 2002, Boettcher *et al.* 2004). Az α -laktalbumin és a β -laktoglobulin az LAA és az LGB gének expressziójából származnak, amelyek az 5. és 11. kromoszómán helyezkednek el (Hayes és Petit 1993). A fehérjék genetikai kódja meghatározza az adott fehérje aminosav szekvenciáját (Walstra *et al.* 2006). A genetikai mutációk egy vagy több aminosav szubsztitúciót vagy deléciót okoznak a kódoló szekvencián belül, ami eltérő aminosav szekvenciával rendelkező fehérje változatokat eredményezhet (Creamer és Macgibbon 1996, Bobe *et al.* 1999). Például az α_{s1} -kazeinnél a CSN1S1 lókuszt kilenc allélt mutat (A, B, C, D, E, F, G, H és I), amelyek kilenc genetikai variánsnak felelnek meg. Napjainkig több mint 60 különböző tejfehérje-variánszt azonosítottak (Farrell *et al.* 2004, Caroli *et al.* 2009).

Tejfehérjék mikroheterogenitása

A kazein fehérjék sokféleségét tovább fokozza a mikroheterogenitás. A mikroheterogenitás alatt a poszttranszlációs módosulások okozta foszforilációt, glikolizációt és a proteolízist értjük (Ng-Kwai-Hang 2003). Számos tanulmány igazolta, hogy az egyes frakciók mennyisége és relatív aránya (Dalgleish 1992, Amalfitano *et al.* 2019), bizonyos allélok előfordulása (Guinee 2003, Bittante *et al.* 2012, Jensen *et al.* 2012/b), és a különböző poszttranszlációs módosulások (Ng-Kwai-Hang és Grosclaude 2003, Caroli *et al.* 2009) befolyásolják a tej fizikai-kémiai, táplálkozásélettani, valamint technológiai tulajdonságait (Amalfitano *et al.* 2019).

A főbb tejfehérje frakciók részletes jellemzése

Az egyes fehérje frakciók eltérő fizikai és kémiai tulajdonságokkal rendelkeznek. A tehéntejben megtalálható hat fő frakció fontosabb fizikai és kémiai tulajdonságait az 1. táblázat tartalmazza.

1.táblázat: Tehéntejben található fő fehérjefrakciók fizikai-kémiai tulajdonságai

Table 1: Physicochemical properties of the main bovine milk protein fractions

Fehérje frakció	Átlagos koncentráció tehéntejben (g/l)	Méret (aminosav-szám)	Főbb genetikai variánsai	Molekula tömeg (kDa)	Izoelektromos pont
α_{s1} -CN	12-15	199	B	23,615	4,44–4,76
			C	23,542	
α_{s2} -CN	3-4	207	A	25,226	
β -CN	9-11	209	A1	24,023	
			A2	23,983	4,83–5,07
			B	24,092	
κ -CN	2-4	169	A	19,037	5,45–5,77
			B	19,006	5,3–5,8
β -LG	2-4	162	A	18,363	5,13
			B	18,277	5,13
α -LA	0,6-1,7	123	B	14,178	4,2–4,5

(Forrás: Farrell et al. 2004, O'Mahony és Fox 2014)

(Source: Farrell et al. 2004, O'Mahony and Fox 2014)

Az 1.táblázatból jól látható, hogy az egyes kazein frakciók hasonló mérettel és molekulatömeeggel rendelkeznek, szemben a savófehérjékkel.

α_s -kazein

A 199 aminosav hosszúságú α_{s1} -CN a kazein frakció 40% -át alkotja (Huppertz 2013). Egy fő és egy mellékkomponensből áll. A két komponens egy egyláncú polipeptid, azonos aminosav-szekvenciával (Grosclaude et al. 1972), de eltérő foszforilációs fokkal.

A molekula elsődleges többszintű foszforilációs helye a 100-110. aminosav körül található (Mercier *et al.* 1981).

Az α_{S2} -CN a tehéntejben a kazein frakció legfeljebb 10%-át teszi ki. Két fő és több kisebb komponensből áll, különböző szintű foszforilációs szinttel (Swaisgood 1982). A legkevésbé hidrofób más kazeinekhez képest (de Kruif és Holt 2003). A genetikai variánsok felfedezése óta a különböző genotípusokat megpróbálták összekapcsolni a tej technológiai tulajdonságaival és az egyed tejtermelési tulajdonságaival, azonban a kapott korrelációk nem voltak egyértelműek (Farrell *et al.* 2004).

β -kazein

A β -CN a kazeinfrakció megközelítőleg 45%-át alkotja. A β -CN egy erősen hidrofób kazein, amely öt foszforilezett csoportot tartalmazó polimerként van jelen a tejben (de Kruif és Holt 2003, Huppertz 2013). Napjainkig 13 változatát írták le, melyek közül az A1 és az A2 a leggyakoribb variánsok (Gallinat *et al.* 2013). A két forma egy aminosav szubsztitúcióval különbözik egymástól. A β -CN A1 esetében a 64. aminosavhelyen prolin, az A2 esetében hisztidin található. A *Bos* nemzetségben az eredeti β -CN változat az A2 (Caroli *et al.* 2009), azonban egy mutáció hatására egyes európai szarvasmarha állományban megjelent az A1 forma is (Ng-Kwai-Hang *et al.* 2002). A két forma közötti legfontosabb különbség, hogy az A1 variáns emésztése során, az aminosavcsere hatására β -kazomorfin-7 (BCM-7) keletkezik (Bell *et al.* 2006). A BCM-7-et egyes kutatások összefüggésbe hozzák egyes emésztőrendszeri megbetegedésekkel, azonban jelenleg ezek az összefüggések nem bizonyítottak (EFSA 2009). Az anyatejben a kazeinfrakció 85%-a β -kazein. (Greenberg *et al.* 1984, Hambraeus és Lonnerdal 2003), ezért a β -kazein érdekes az anyatej-helyettesítő tápszerek dúsítása szempontjából. Az anyatejben és a tehéntejben található β -kazein közötti különbség az eltérő foszforilációs állapot. A szarvasmarha β -kazein általában teljesen foszforilezett formában fordul elő, míg az anyatejben a β -kazein multifoszforilezett formában található, molekulánként 0–5 foszfátcsoporttal (Greenberg *et al.* 1984). A foszforilezettség foka jelentős tényező az emészthetőségénél, ezért a csecsemőtápszerek előállításánál javasolt a kazein defoszforilezése, ami által a tehéntejben megtalálható β -kazein jobban hasonlít az anyatejben található kazeinre (Broyard és Gaucheron 2015).

κ -kazein

A kazein frakciók közül a legkisebb mennyiségben a κ -CN frakció található meg a tehéntejben. Foszforilációjának mértéke nagyon kicsi, azonban az egyetlen kazein frakció, amely akár 6 aminosav helyen is glikolizálható (Pisano et al. 1994). A többi kazeintól eltérően szénhidrátban gazdag glikopoli-peptid részt tartalmaz (124-155. pozíció), amely galaktózból, galaktózaminból és szialinsavból épül fel. Elegejtekben a κ -CN molekulák 60%-a glikolizált formában található meg (Vreeman et al. 1986). Két leggyakoribb variánsa az A és a B (Farrell et al. 2004). A B variáns nagyobb fokú glikozilációval társul, összehasonlítva az A variánssal (Coolbear et al. 1996). Napjainkig kevés ismeret áll rendelkezésre a κ -CN glikozilezés szerepéről a tej technológiai tulajdonságainak determinizmusában (Bonfatti et al. 2014). A tejelő fajtáknál az A variáns a domináns, kivétel ez alól a Jersey fajta (Ng-Kwai-Hang és Grosclaude 2003). A tejfehérjék genetikai variánsainak a tejalvadási tulajdonságokra gyakorolt hatását számos tanulmány vizsgálta. A κ -CN allélokra vonatkozó vizsgálatok azt mutatták, hogy a B allél szignifikánsan kedvezően hat a tejfehérje tartalomra (Ng-Kwai-Hang et al. 1984, Aleandri et al. 1990, Ikonen et al. 1997) és sajtgyártás során a B variáns kedvezőbb alvadási tulajdonságokkal rendelkezik (Ikonen et al. 1999, Di Stasio és Mariani 2000, Wedholm et al. 2006, Jensen et al. 2012/a). Ezzel szemben, a κ -CN A és E allélek gyenge alvadási tulajdonságot eredményeznek (Schaar et al. 1985, Marziali és Ng-Kwai-Hang 1986, Ikonen et al. 1999, Hallén et al. 2007, Heck et al. 2009, Jensen et al. 2012/a).

 β -laktoglobulin

A β -laktoglobulin a savófehérjék több mint felét, az összefehérjének hozzávetőlegesen 10-12%-át alkotja (Farrell et al. 2004). Leggyakoribb variánsa az A és B, amelyek két aminosavban különböznek. A β -LG a tejfehérjék közül az egyik legallergénebb fehérjefrakció (Bu et al. 2013) emiatt nagy érdeklődés mutatkozik a csökkentett β -laktoglobulin tartalmú anyatej-helyettesítő tápszerek előállítására. Technológiai szempontból sajtgyártás során a β -laktoglobulin B variáns kedvezőbb alvadási tulajdonságokkal rendelkezik.

α -laktalbumin

Viszonylag kisméretű fehérje, 123 aminosavat tartalmaz, molekulatömege 14 kDa. Tehéntejben az összes fehérje körülbelül 3,5%-át, a savófehérjék hozzávetőlegesen 17%-át alkotja (*O'Mahony et al.* 2013). Az anyatejben az α -laktalbumin az egyik alapvető savófehérje frakció, így anyatej-helyettesítő tápszerekeben alkalmazzák.

Tejfehérjék vizsgálata elektroforetikus módszerekkel

Az egyes tejfehérje frakciók extrakciója, kvalitatív és kvantitatív meghatározása napjainkban is kihívást jelent. A tejben található fehérje egy heterogén komplex peptidcsoport. A mennyiségi meghatározást nagyban megnehezíti, hogy jelenleg a kereskedelmi forgalomban kapható fehérjefrakció standardok legtöbbször csak 70-90% tisztaságúak és az egyes genetikai variánsokra jelenleg nem is érhető el (*Farrell et al.* 2004, *Dupont et al.* 2018). Az elmúlt három évtizedben számos publikáció jelent meg a kazein és a savófehérje frakciók elektroforetikus és nagyhatékonyságú folyadékkromatográfiás vizsgálatával kapcsolatban, melyek közül a leggyakrabban alkalmazott módszerek a gélelektroforézis különböző formái, a kapillaris zónaelektroforézis (CZE), a fordított fázisú folyadékkromatográfia (RP-HPLC) és a legújabb mikrofluid „lab on a chip” technika. A következő fejezetben a felsorolt vizsgálati módszerek előnyeit és hátrányait ismertetem a tejfehérje vizsgálatok vonatkozásában.

Tejfehérjék vizsgálata gélelektroforézissel

Az elektroforézis elvén alapuló elválasztási technikák esetén az oldat töltéssel rendelkező részecskéi elektromos erőter hatására különböző sebességgel mozdulnak el. A gélelektroforézist széles körben alkalmazzák a tejben lévő fő fehérje frakciók és azok genetikai variánsainak elválasztásához. A módszer elvégezhető keményítő, poliakrilamid vagy poliakrilamid-agaróz gélen. A módszer különböző festési eljárásokkal és denzitometriás szkennelést követően fehérjék szemikvantitatív meghatározására alkalmas (*Dziuba és Mioduszevska* 1997, *Lin et al.* 2010).

Tejfehérjék vizsgálata keményítő gélelektroforézissel

A keményítő gélelektroforézist *Melachouris és Tuckey* (1966) alkalmazta először kazeinek és egyes bomlástermékek vizsgálatára sajtban. A keményítő gélek ugyan jó elválasztást tettek lehetővé, azonban kiöntés után gyakran opálosak és törékenyek voltak

(*Smithies 1955, Tremblay et al. 2003*). Ezen hátrányok kiküszöbölésére a keményítő gélek használatát fokozatosan felváltották a poliakrilamid gélek használata.

Tejfehérjék vizsgálata poliakrilamid-gélelektroforézissel (PAGE)

A poliakrilamid, az akrilamid és az N,N'-metilén-bisz-akrilamid (BIS) térhálós szerkezetű polimerizációs terméke. A monomerek koncentrációjával szabályozható a gél pórusnagysága, amely meghatározza az átszűrődő molekulák maximális tömegét. A poliakrilamid gélen végzett tejfehérje vizsgálatokra számos módszertani variáció terjedt el, mint a natív-PAGE, urea-PAGE, vagy nátrium-dodecil-szulfát-poliakrilamid-gél (SDS-PAGE) alkalmazása.

Natív-PAGE

A natív-PAGE mérés technikai módszer esetében a fehérjéket natív állapotukban választják el nettó töltésük, méretük és alakjuk alapján (*Smith 1984*). A „natív” elektroforézis kifejezés a fehérje elemzésére utal összehasonlítva az elektroforézis egyéb formáival, ahol denaturáló (SDS vagy urea) vagy redukáló szereket (merkaptotanol (ME) vagy ditiotreitolt (DTT)) használnak (*Pesic et al. 2011*). Mivel a kazeinek különböző frakcióinak izoelektromos pontja között viszonylag kicsi az eltérés (*1. táblázat*), a natív-PAGE nem alkalmas a kazein frakciók elválasztására, azonban lehetővé teszi a savófehérjék elválasztását (*McSweeney és Fox 1997, Lin et al. 2010*), ezért elsősorban tejhamisítási vizsgálatoknál alkalmazzák (*Pesic et al. 2011*). A molekula tömeg „létra” nem alkalmazható ennél a módszernél, így a fehérjék azonosítása nehézkes, tisztított fehérjefrakció standardok egyidejű futtatásával érhető el (*Sharma et al. 2021*). A módszer felbontóképessége általában kisebb, mint az SDS-PAGE módszeré, azonban előnye, hogy a fehérje natív szerkezetét elektroforézist követően is lehet vizsgálni (*Kurien és Scofield 2005*).

Urea-PAGE

Az urea (karbamid) nagy koncentrációban denaturálja a fehérjéket. A fehérje denaturálásához szükséges ureakonzentráció körülbelül 6 M (*Schagger 2006*). A mintapufferhez adott karbamid javítja a kazeinek elválasztását, azonban elmosódott halvány α -laktalbumin és β -laktoglobulin fehérje sávokat eredményez, amelyeket nehéz azonosítani (*Patel et al. 2006, Yukalo et al. 2019*). Az α_2 -kazein és a κ -kazein

elválasztásához 2-merkaptóetanol is szükséges a mintapufferbe (Andrews 1983). A módszert Duarte-Vázquez és munkatársai (2017) β -kazein A1 és A2 azonosítására alkalmazták tehéntejben, azonban genotipizáláshoz jelenleg még széles körben nem terjedt el. A módszer alkalmas különböző fajoktól származó tejek elemzésére, kihasználva, hogy a ló és a teve β -kazein és κ -kazein lassabban vándorol, összehasonlítva a szarvasmarha-, kecske- vagy bivaly tejével (Hinz et al. 2012).

SDS-PAGE

Az SDS-PAGE technika a fehérjéket denaturált állapotban, főként a molekulatömegük alapján választja el. Az SDS (nátrium-dodecil-szulfát) egy erős anionos detergens, amely denaturálja a fehérjéket a hidrogénkötések lehasításával, másodlagos és harmadlagos szerkezetük felbontásával (Westermeier 2011), ezáltal 0,1 mmólnál nagyobb koncentráció konformációs változásokat okoz a fehérjékben (Reynolds és Tanford 1970).

Az SDS a fehérjékhez specifikusan kötődik, kitekeri a fehérjéket és ionos tulajdonsága miatt megközelítőleg azonos fajlagos (negatív) töltést biztosít a fehérjéknek. A tejfehérjék elválasztása esetében a leggyakrabban alkalmazott puffer a TRIS-glicin (Laemmli 1970). Az SDS-PAGE során a fehérje által megkötött SDS mennyisége arányos a fehérje tömegével. Átlagosan 1,4 g SDS kötődik 1 g fehérjéhez (Reynolds és Tanford 1970, Smith 1984).

Az SDS-PAGE alkalmas a savófehérje frakciók elválasztására, azonban kazein frakciók közel azonos molekulatömege (1. táblázat) miatt nem túl hatékony a kazeinek elválasztásában. További hátránya, hogy a β -kazein, amely nagy hidrofóbitással rendelkezik aránytalanul nagy mennyiségű SDS-t köt meg, következésképpen nagyobb elektroforetikus mobilitással rendelkezik, mint az α_{S1} -kazein, amely egy nagyobb molekula (Creamer és Richardson 1984). Számos kutatásban mégis alkalmazzák a fehérjék látszólagos molekulatömegének meghatározására (Shapiro et al. 1967, Sheehan 2009), annak ellenére, hogy a mért érték jellemzően sokkal nagyobb, mint az egyéb technikával (tömegspektroszkópia) mért tényleges molekulatömeg (Dziuba 2002).

Kétdimenziós gélelektroforézis

A kétdimenziós gélelektroforézist (2-DGE) O'Farrell (1975) alkalmazta elsőként. Ez a technika a fehérjék két molekuláris tulajdonságát is felhasználja (molekulatömeg,

izoelektromos pont), hogy megkönnyítse a hasonló molekulatömegű vagy izoelektromos ponttal rendelkező fehérjék elválasztását. A 2-DGE alkalmazásakor a fehérjék szétválasztása az első dimenzióban izoelektromos fókuszálással töltés szerint történik (IEF), majd a gélsíkot SDS-PAGE módszerrel molekulatömegük szerinti szeparálást végeznek (*Ong és Pandey* 2001). A módszer hátránya, hogy az kis koncentrációban lévő fehérjéket nehéz detektálni. Ennél a módszernél a fehérjék festést követően nem sávokban, hanem foltokként jelennek meg a gél képén *Hinz et al.* (2012)

Kapilláris zónaelektroforézis (CZE)

Kapilláris elektroforézisről beszélünk, ha az elektroforetikus elválasztás kis belső átmérőjű (50 μm) 0,5-1 cm hosszú kapillárisokban történik nagy feszültség hatására. A legegyszerűbb és leggyakrabban alkalmazott kapilláris elektroforetikus módszer, a kapilláris zónaelektroforézis (CZE), amely a részecskék eltérő elektroforetikus mozgékonyaságán alapul. A kapilláris elektroforézis nem egy vertikális vagy horizontális gélben, hanem egy kapilláris belsejében történik. A módszer sokkal pontosabb a fehérjék mennyiségi meghatározásában, mint a klasszikus PAGE módszerek (*Strickland et al.* 2001). Számos tanulmány beszámol a savófehérjék (*Recio et al.* 1995) és a kazeinek (*Otte et al.* 1997, *Ortega et al.* 2002), valamint azok genetikai variánsainak egyidejű elválasztásáról (*Reico et al.* 1996, *Recio et al.* 2001). A módszer lehetővé teszi nyolc és kilenc foszfátcsoportot tartalmazó α_{s1} -CN elválasztását (*Recio et al.* 1997), az α_{s2} -CN és α_{s2} -CN CZE kazein genotípusainak mennyiségi meghatározását (*Gomez et al.* 2004), valamint a kazeinek bomlás termékeinek vizsgálatát (*Otte et al.* 1997).

A tejfehérjék vizsgálatára elsőként *Chen és Zang* (1992) alkalmazta a módszert. Kísérleteik során azt tapasztalták, hogy foszfátpuffer alkalmazásával, urea jelenléte nélkül a kazein frakciókat nem sikerül elválasztaniuk. Karbamid foszfát pufferrel (4 M urea foszfátpufferben, pH=7) 10 perc alatt sikeresen elválasztották a β -kazeint, az α -laktalbumint és a β -laktoglobulint. *Chen és Tusak* (1994) a vizsgálataikban magas pH-értékű nagy ionerősségű puffert (borát puffer pH = 10,0) alkalmaztak, azonban a savófehérjéket nem sikerült elválasztaniuk. A β -laktoglobulin és az α -laktalbumin együtt eluálódott az α s-kazeinnel. A fehérjék CE-elemzésének egyik fő problémája a fehérjék adszorpciója a negatív töltésű fuzionált kvarc kapilláris felületre, ami torz csúcsformákhoz és rossz elválasztásokhoz vezet (*Chen és Zang* 1992, *Reico* 1997). Elsőként *Nynke de Jong* és munkatársainak sikerült CZE módszerrel a savófehérjék és a

kazein fehérjék egyidejű elválasztása (*de Jong et al.* 1993). Kísérleteikhez kvarc kapilláris helyett hidrophil töltetű kapillárist használtak fel kis pH-értékű puffer oldattal (20 mM nátrium-citrát, pH=3). *Visser et al.* (1991) elválasztotta β -kazein három genetikai variánsát (A1, A2, A3) A módszer előnye a hagyományos elektroforetikus és kromatográfiai módszerekkel szemben a gyorsaság, nagy felbontás, egyszerűség és a kicsi üzemeltetési költségek (*Gutierrez és Jakobovits* 2003, *Kinghorn et al.* 1995).

„Lab on a chip” mikrofluidikai módszer

A „Lab on a chip” módszer során a vizsgálat a mintaelőkészítéstől a detektálásig elvégezhető egy darab chip felületén. A berendezés egy 5 cm oldalú négyzet alakú chip. A chip felületén található mikroutakat a vizsgálandó mintával és reagenssel töltik meg (*Nazzaro et al.* 2012).

A mérés technika eredetileg a DNS és az RNS szétválasztására és mennyiségi meghatározására használták (*Goetz et al.* 2004). A mikrofluid technika előnye más elektroforézis módszerekkel szemben a rendkívül rövid elemzési ideje (1–3 perc), az elemzés kicsi költsége, a nagy érzékenysége, továbbá, hogy a mérésekhez kis mintamennyiség szükséges (*Nazzaro et al.* 2012, *Dolnik és Liu* 2005, *Tran et al.* 2010). *Bütikofer és munkatársai* (2006) nyers és hőkezelt tejek α -laktalbumin és β -laktoglobulin tartalmát határozták meg mikrofluid, kapilláris elektroforézissel Kjeldahl módszerrel. A két fehérje frakció aránya az összes fehérjére vonatkoztatva százalékos arányban mikrofluid technikával $12,8 \pm 0,2\%$, míg a kapilláris elektroforézis módszerrel $13,3 \pm 0,6\%$ volt. Az eredmények jó egyezőséget mutattak a Kjeldahl módszerrel becsült értékkel, amelyben a két savófehérje frakció aránya az összes fehérjére vonatkoztatva $13,3\%$ volt. *Anema* (2009) a mikrofluid technikával fölözött tej mintákat vizsgált. Hatékony elválasztást ért el a fő kazein- és savófehérje frakciókra. Bár a mérőmódszer chipen belüli reprodukálhatósága jó volt, azonban a chippek között a csúcs alatti területek korrelációs koefficiens értékére 10-15% közötti értékeket figyeltek meg. *Buffoni és munkatársai* (2011) mediterrán vízbivalytól származó (*Bubalus bubalis*) egyedtejekből nyert savó mintákban vizsgálta az α -laktalbumin, β -laktoglobulin és szérum-albumin (SA) tartalmát. Mennyiségi meghatározáshoz a fehérje standardokat minden egyes chipre feltöltötték, így az átlagos korrelációs együttható $0,95$ (α -laktalbumin) $0,94$ (β -laktoglobulin) és $0,93$ (szérum albumin) volt (*Buffoni et al.* 2011).

Costa és munkatársai (2014) TPS puffer (karbamid koncentráció: 2 mol/L) és SEP puffer (karbamid koncentráció 6 mol/L) hatását vizsgálta az elválasztás javítása céljából. Mindkét puffer javította az elválasztást. A két puffer közül a SEP puffer a kazeinfrakciók hatékonyabb elválasztását és mennyiségi meghatározását eredményezte. Ez azzal magyarázható, hogy a kazeinek karbamid jelenlétében disszociálódnak (*Hames és Rickwood* 1998).

Fordított fázisú kromatográfia

A folyadékkromatográfiai módszerek közül a fordított fázisú folyadékkromatográfia (RP-HPLC) napjainkra az egyik leggyakoribb és egyben legmegbízhatóbb vizsgálati módszerre vált a tejben lévő fehérjefrakciók és egyes genetikai variánsok azonosítására és mennyiségi meghatározására (*Bordin et al.* 2001, *Bonfatti et al.* 2008, *Bonfatti et al.* 2013). A folyadékkromatográfiai rendszer a legegyszerűbb esetben egy kromatográfiai töltetből (állófázis) oszlopból (kolonnából), mobil fázisból, a mozgófázist az oszlopon átnyomó pumpából, valamint a molekulák retenciós (visszatartási) idejét jelző detektorból áll. A módszer az állófázis és a mozgófázis közötti hidrofób kölcsönhatáson alapul. A mérőrendszer egy n-alkil-szilikát alapú állófázist tartalmaz, amelyben az oldott anyagokat növekvő koncentrációjú gradiensekkel eluálják (*Aguilar* 2003.). Jellemzően a tejfehérjék elemzéséhez állófázisként C18 (*Bobe et al.* 1998/a), C8 (*Bonfatti et al.* 2008) és C4 oszlopokat (*Ma et al.* 2017) alkalmaznak. A mobil fázis gyakran tartalmaz ionpárosító szert, például 0,1% trifluor-ecetsavat (TFA), amely elegendő hidrofób képességű ionpárt hoz létre, hogy az állófázis megtartsa (*Sheehan* 2009). A mintaelőkészítés során a mintapuffer általában denaturálószerként ureát vagy guanidin-hidrokloridot, redukálószerként ditiotreitolt (DTT) tartalmaz. A fehérjék detektálásához UV, UV-VIS vagy diódasoros detektálási (DAD) módot alkalmaznak jellemzően 210-280 nm hullámhosszú tartományban. Kezdetben a kazeineket és savófehérjéket savas kicsapással elválasztották (*Carles* 1986, *Visser et al.* 1986, *Strange et al.* 1991, *Parris és Baginski* 1991), mert tejfehérjék egyidejű elemzése nem volt alkalmas. A tejfehérjék egyidejű meghatározásáról számoltak be *Visser és munkatársai* (1991) kísérleteik során a mintapuffer redukálószerként ureát, 2-merkaptotetanolt és tinátrium-citrát dihidrátot tartalmazott. A főlözött tej vizsgálata során az α -laktalbumint nem sikerült elválasztaniuk, együtt eluálódott a β -kazein frakcióval. *Groen és munkatársai* (1994) a *Visser és*

munkatársai (1991) által leírt protokoll szerint vizsgáltak 95 tejmintát, azzal a különbséggel, hogy redukálószerként merkaptotetanol helyett ditiotreitolt (DTT) használtak. Az általuk leírt módszerrel az α -laktalbumint nem sikerült elválasztaniuk a β -laktoglobulin B frakciótól. Emellett ellentétben *Visser et al.* (1991) által leírtakkal az α -laktalbumin nem az α_{s1} -kazein és β -kazein között eluálódott. *Bobe és munkatársai* (1998/b) számos mintaelőkészítési protokollt és reagenst vizsgáltak a tejben lévő fehérjék elemzésére. A kapott eredmények összhangban voltak *Visser et al.* (1991) és *Groen* (1994) által leírt eredményekkel, miszerint a mintapufferben alkalmazott redukálószer típusa befolyásolja az α -laktalbumin és β -laktoglobulin retenciós idejét. Elsőként *Bobe és munkatársai* (1998/a) fejlesztett ki egy olyan mintaelőkészítési eljárást, amely alkalmas volt egyidejűleg elválasztani és mennyiségileg meghatározni a fő fehérje frakciókat. Kísérleteikhez C18-as oszlopot, puffer oldatban urea helyett guanidin-hidrokloridot, nátrium-citrátot és DTT-t alkalmaztak. A detektálási hullámhossz 220 nm volt. Az általuk leírt mintaelőkészítési protokoll és mérési módszer alkalmas a fő kazein és savófehérje frakciók, valamint a κ -kazein, β -kazein és β -laktoglobulin genetikai variánsainak elválasztására 52 perc alatt. *Bonfatti és munkatársai* (2008) a *Bobe és munkatársai* (1998/a) által leírt mintaelőkészítési protokollal, C8-as oszlop alkalmazásával és a mozgófázis összetételének változtatásával optimalizált módszer lehetővé teszi fő fehérje frakciók mellett a genetikai variánsok mennyiségi meghatározását is.

KÖVETKEZTETÉSEK

Az egyes tejfehérje frakciók mennyisége és relatív aránya, bizonyos allélok előfordulása és a különböző a poszttranszlációs módosulások hatással lehetnek a tej fizikai-kémiai, táplálkozásélettani, valamint technológiai tulajdonságaira (*Caroli et al.* 2009, *Amalfitano et al.* 2019). Ennél fogva az egyes tejfehérje frakciók pontos ismerete nem csak a tejipar, hanem a táplálkozástudomány számára is kulcsfontosságú (*Bar et al.* 2019). Napjainkban a leggyakrabban alkalmazott technikák a tejfehérjék elválasztására és számszerűsítésére a poliakrilamid gélelektroforézis (PAGE), kapilláris elektroforézis (CE) és nagy teljesítményű folyadékkromatográfia (HPLC) (*Costa et al.* 2014).

A felsorolt mérés technikák midegyikének vannak előnyei és hátrányai, egyik módszer sem nyújt teljes körű információt a tej fehérjefrakcióiról. Az elektroforetikus módszerek közül a poliakrilamid gélen végzett vizsgálatok előnye, hogy a fő tejfehérje frakciók

mellett kisebb fehérje komponensek, valamint, egyes fehérjefrakciók bomlástermékei is vizsgálhatóak és nincs szükség a drága berendezésekre. Hátránya, hogy a többi módszerhez képest időigényes és szemikvantitatív meghatározást tesz lehetővé. *Sharma és munkatársai* (2020) szerint, a poliakrilamid gélen végzett elektroforetikus technikák közül az urea-PAGE a kazeinekre, míg natív-PAGE a savófehérjékre alkalmasabb. A kazeinek és savófehérjék egyidejű elválasztásra, az SDS-PAGE a legjobb módszer, mivel az SDS gélek egyszerre képesek elválasztani mind a kazeineket, mind a savófehérjéket és a nettó molekulatömegük egyidejűleg is meghatározható.

Anema (2009) eredményei alapján a mikrofluidika chip technológia egy gyors alternatíva lehet a tejfehérje elválasztására és mennyiségi meghatározására azonban hátránya, hogy fő tejfehérje frakciókra korlátozódik és nem alkalmas az egyes genetikai variánsok elválasztására. A fordított fázisú kromatográfia és kapilláris zónaelektroforézis hatékony és megbízható vizsgálati módszer a tej fő fehérjefrakcióinak és azok genetikai variánsainak meghatározására (*Heck et al.* 2009, *Bordin et al.* 2001)

QUALITATIVE AND QUANTITATIVE DETERMINATION OF THE MAIN BOVINE CASEIN AND WHEY PROTEIN FRACTIONS BY ELECTROPHORETIC TECHNIQUES AND HIGH-PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHY

HENRIETTA BUZÁS^{1,2}, GÁBOR SZAFNER², ATTILA JÓZSEF KOVÁCS¹

¹ Széchenyi István University, Faculty of Agricultural and Food Sciences
Department of Biosystems and Food Engineering Mosonmagyaróvár

²Hungarian Dairy Research Institute, Mosonmagyaróvár

ABSTRACT

Bovine milk contains on average of 3.3% true protein. It is one of the most valuable ingredients of the milk components. Milk proteins are a heterogeneous group of peptides, it 90-95 percent consists of six main protein fractions, namely α_{S1} -casein, α_{S2} -casein, β -casein, κ -casein, α -lactalbumin, β -lactoglobulin. The protein fractions heterogeneity

further enhanced by the post translational modifications like glycosylation, phosphorylation, genetic polymorphism.

Numerous studies have shown that the amount and relative proportions of the fractions and the presence of certain alleles, various posttranslational modifications can affect nutritional value and the technological properties of milk. Consequently, accurate knowledge of the individual milk protein fractions is high interest, not only for the dairy industry but also for nutrition researches.

The extraction, qualitative and quantitative determination of each milk protein fraction is a challenging. In the last three decades, several studies have been published on the electrophoretic and high-performance liquid chromatographic analysis of casein and whey protein fractions. The most commonly used methods are the various forms of gel electrophoresis, capillary zone electrophoresis (CZE), reversed-phase chromatography (RP-HPLC) and the latest microfluidic “lab on chip” technique. Each of these techniques listed has advantages and disadvantages and none of the methods provides complete information on the milk protein fraction. The purpose of the review is to characterize the main individual milk protein fractions. Description of the most commonly used test methods for the milk protein separations and quantification.

Keywords: milk protein fractions, caseins, whey proteins, PAGE, RP-HPLC, lab on a chip, CZE

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 számú „Innovatív tudományos műhelyek a hazai agrár felsőoktatásban” című projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

IRODALOMJEGYZÉK:

Aguiar, M. (2003): HPLC of Peptides and Proteins, Methods and Protocols. Humana Press. Totowa.

- Aleandri, R. – Buttazzoni, L. G. – Schneider, J. C. – Caroli, A. – Davoli, R.* (1990): The effects of milk protein polymorphisms on milk components and cheese-producing ability. *Journal of Dairy Science*. 73, (2) 241-255.
- Amalfitano, N. C. - Cipolat-Gotet, A. – Cecchinato, M. - Malacarne Summer, A.- Bittante, G.* (2019): Milk protein fractions strongly affect the patterns of coagulation, curd firming, and syneresis. *Journal of Dairy Science*. 102, (4) 2903–2917.
- Andrews, A. T.* (1983): Proteinases in normal bovine milk and their action on caseins. *Journal of Dairy Research*. 50, (1) 45-55.
- Anema, S. G.* (2009): The use of ‘‘lab-on-a-chip’’ microfluidic SDS electrophoresis technology for the separation and quantification of milk proteins. *International Dairy Journal*. 19, (4) 198-204.
- Auldust, M. J. – Johnston, K. A. – White, N. J. – Fitzsimons, W. P. – Boland, M. J.* (2004): A comparison of the composition, coagulation characteristics and cheese making capacity of milk from Friesian and Jersey dairy cows. *Journal of Dairy Research*. 71, (1) 51-57.
- Bar, C. – Mathis, D. – Neuhaus, P. – Dürr, D. – Bisig, W. – Egger, L. – Portmann, R.* (2019): Protein profile of dairy products: Simultaneous quantification of twenty bovine milk proteins. *International Dairy Journal*. 97, (1) 167-175.
- Bell, S. J. – Grochoski, G. T. – Clarke, A. J.* (2006): Health Implications of Milk Containing β -Casein with the A2 Genetic Variant. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 46, (1) 93-100.
- Bernabucci, U. – Biffani, S. L. – Buggiotti, L. – Vitali, A. – Lacetera, N. – Nardone, A.* (2014): The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 97, (1) 471-486.
- Bernabucci, U. – Lacetera, N. Ronchi, B. – Nardone, A.* (2002): Effects of the hot season on milk protein fractions in Holstein cows. *Animal Research*. 51, (1) 25-33.
- Bittante, G. – Penasa, M. – Cecchinato, A.* (2012): Invited review: Genetics and modeling of milk coagulation properties. *Journal of Dairy Science*. 95, (12) 6843–6870.
- Bobe, G. – Beitz, D. C. – Freeman, A. E. – Lindberg, G. L.* (1998/a): Separation and quantification of bovine milk proteins by reversed phase high performance liquid chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46, (4) 458–463.
- Bobe, G. – Beitz, D. C. – Freeman, A. E. – Lindberg, G. L.* (1998/b): Sample preparation affects separation of whey proteins by reversed phase high performance liquid chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46, (4) 1321–1325.

- Bobe, G. – Beitz, D. C. – Freeman, A. E. – Lindberg, G. L. (1999):* Effect of milk protein genotypes on milk protein composition and its genetic parameter estimates. *Journal of Dairy Science.* 82, (12) 2797-2804.
- Boettcher, P. J. – Caroli, A. – Stella, A. – Chessa, S. – Budelli, E. – Canavesi, F. (2004):* Effects of casein haplotypes on milk production traits in Italian Holstein and Brown Swiss cattle. *Journal of Dairy Science.* 87, (12) 4311–4317.
- Bonfatti, V. – Chiarot, G. – Carnier, P. (2014):* Glycosylation of κ -casein: Genetic and nongenetic variation and effects on rennet coagulation properties of milk. *Journal of Dairy Science.* 97, (4) 1961-1969.
- Bonfatti, V. – Gervaso, M. – Rostellato, R. – Coletta, A. – Carnier, P. (2013):* Protein composition affects variation in coagulation properties of buffalo milk. *Journal of Dairy Science.* 96 (7) 4182-4190.
- Bonfatti, V. – Grigoletto, L. – Cecchinato, A. – Gallo, L. – Carnier, P. (2008):* Validation of a new reversed-phase high-performance liquid chromatography method for separation and quantification of bovine milk protein genetic variants. *Journal of Chromatography A.* 1195, (1-2) 101-106.
- Bordin, G. – Cordeiro Raposo, F. – de la Calle, B. – Rodriguez, A. R. (2001):* Identification and quantification of major bovine milk proteins by liquid chromatography. *Journal of Chromatography A.* 928 (1) 63-76.
- Broyard, C. – Graucheron, F. (2015):* Modifications of structures and functions of caseins: a scientific and technological challenge. *Dairy Science and Technology.* 95, (6) 831-862.
- Bu, G. – Luo, Y. – Chen, F. – Liu, K. – Zhu, T. (2013):* Milk processing as a tool to reduce cow's milk allergenicity: a mini-review. *Dairy Science & Technology.* 93, (3) 211-223.
- Buffoni, J. N. – Bonizzi, I. – Pauciullo, A. – Ramunno, L. – Feligini, M. (2011):* Characterization of the major whey proteins from milk of Mediterranean water buffalo (*Bubalus bubalis*). *Food Chemistry.* 127, (4) 1515-1520.
- Butikofer, U. – Meyer, J. – Rehberger, B. (2006):* Determination of the percentage of α -lactalbumin and β -lactoglobulin of total milk protein in raw and heat treated skim milk. *Milchwissenschaft.* 61, (3) 263-266.
- Carles, C. (1986):* Fractionation of bovine caseins by reversed phase high performance chromatography: identification of a genetic variant. *Journal of Dairy Research.* 53, (1) 35–41.

- Caroli, A. M. – Chessa, S. – Erhardt, G. J. (2009).* Invited review: Milk protein polymorphisms in cattle: Effect on animal breeding and human nutrition. *Journal of Dairy Science*. 92, (11) 5335–5352.
- Chen, F. T. A. – Tusak, A. (1994):* Characterization of food proteins by capillary electrophoresis. *Journal of Chromatography A*. 685, (2) 331-337.
- Chen, F. T. A. – Zang, J. H. (1992):* Determination of milk proteins by capillary electrophoresis. *Journal of AOAC International*. 75, (1) 905–909.
- Clayden, J. – Greeves, N. – Warren, S. – Wothers, P. (2001):* Organic Chemistry, Oxford University Press Inc. New York.
- Coolbear, K. P. – Elgar, D. F. – Ayers, J. S. (1996):* Profiling of genetic variants of bovine κ -casein macropeptide by electrophoretic and chromatographic techniques. *International Dairy Journal*. 6, (11-12) 1055–1068.
- Costa, F. F. – Brito, M. A. V. P.- Furtado, M. A. M. – Martins, M. F. – Olivera, M. A. L. -Barra, P. M. C. – Santos, A. S. O. (2014):* Microfluidic chip electrophoresis Investigation of major milk proteins: study of buffers effects and quantitative approaching. *Analytical Methods*. 6, (6) 1666-1673.
- Creamer, L.K. – Macgibbon, A. K. H. (1996):* Some recent advances in the basic chemistry of milk proteins and lipids. *International Dairy Journal*. 6, (6) 539-568.
- Creamer, L. K. – Richardson, T. (1984):* Anomalous behaviour of bovine α_{s1} - and β - caseins on gel electrophoresis in sodium dodecyl sulfate buffer. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 234, (2) 476-486.
- Csapó, J. – Csapóné Kiss, Zs. (2002):* Tej és tejtermékek a táplálkozásban. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Dalgleish, D.G. (1992):* The enzymatic coagulation of milk. In. *Advanced Dairy Chemistry Proteins*. Elsevier Applied Science, Barking, UK.
- De Jong, N. – Visser, S. – Olieman, C. (1993).* Determination of milk proteins by capillary electrophoresis. *Journal of Chromatography A*. 652, (1) 207-213.
- de Kruif, C. G. – Holt, C. (2003):* Casein micelle structure, functions and interactions. In *Advanced Dairy Chemistry*. Kluwer Academic Plenum Publishers, New York.
- Di Stasio, L.- Mariani, P. (2000):* The role of protein polymorphism in the genetic improvement of milk production. *Zootecnicæ Nutrizione Animale*. 26, (3) 69-90.
- Dolnik, V. – Liu, S. (2005):* Application of capillary electrophoresis on microchip. *Journal of Separation Science*. 28, (15) 1994 - 2009.

Duarte-Vázquez, M. A. - García-Ugalde, C. R. – Álvarez, B. E. – Villegas, L. M. - García-Almendárez, B. E. – Rosado, J. L. (2017): Production of Cow's Milk Free from Beta-Casein A1 and Its Application in the Manufacturing of Specialized Foods for Early Infant Nutrition. *Foods*. 6, (7) 1-15.

Dupont, D. – Croguennec, T. – Pochet, S. (2018): Milk Proteins - Analytical Methods. Reference Module in Food Sciences. Elsevier, Academic Press.

Dziuba, J. – Mioduszevska, H. (1997): Quantitative analysis of milk proteins by SDS-PAGE method. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 6/47, (1) 91-98.

Dziuba, J. – Darewicz, M. – Minkiewicz, P. – Panfil, T. (2002): Application of SDS-polyacrylamide gel electrophoresis and reversed-phase-high performance liquid chromatography on-line with the second and fourth derivatives UV spectroscopy in identification of β -casein and its peptide fractions. *Milchwissenschaft*. 57, (9-10) 497-502.

EFSA (European Food Safety Authority) (2009): Review of the potential health impact of β -casomorphins and related peptides. *EFSA Scientific Report* 231, 1–107.

Farrell, Jr. H. M. - Jimenez-Flores, R. – Bleck, G. T.- Brown, E. M. – Butler, J. E. – Creamer, L. K. – Hicks, C. L. Holler, C. M. - Ng-Kwai-Huang, K. – Swaisgood, H. E. – (2004): Nomenclature of the proteins of cows' milk -sixth revision. *Journal of Dairy Science*. 87, (6) 1641–1673.

Ferretti, L. – Leone, P. – Sgaramella, V. (1990): Long range restriction analysis of the bovine casein genes. *Nucleic Acids Research*. 18, (23) 6829-6833.

Fox, P.F. – Brodtkorb, A. (2008): The casein micelle: historical aspects, current concepts and significance. *International Dairy Journal*. 18, (7) 677–684.

Fox, P.F. – McSweeney, P. L. H. (1998): Dairy chemistry and biochemistry. Blackie Academic & Professional. London.

Gallinat, J. – Qanbari, L. S. – Drogemuller, C. – Pimentel, E. C. – Thaller, G. – Tetens, J. (2013): DNA-based identification of novel bovine casein gene variants. *Journal of Dairy Science*. 96, (1) 699–709.

Gellrich, K. – Meyer, H. H. D.- Wiedemann, S. (2014): Composition of major proteins in cow milk differing in mean protein concentration during the first 155 day of lactation and the influence of season as well as short- term restricted feeding in early and mid-lactation. *Czech Journal of Animal Science*. 59, (3) 97–106.

- Goetz, H. – Kuschel, M. – Wulff, T. – Sauber, C. – Miller, C. – Fisher, S. – Woodward, C.* (2004): Comparison of selected analytical techniques for protein sizing, quantitation and molecular weight determination. *Journal of Biochemical and Biophysical Methods.* 60, (3) 281–293.
- Gomez Ruiz, J. A. – Miralles, B. – Aguera, P. – Amigo, L.* (2004): Quantitative determination of alphas₂- and alphas₁-casein in goat's milk with different genotypes by capillary electrophoresis. *Journal of Chromatography A.* 1054, (1-2) 279-284.
- Greenberg, R. – Groves, M. L. – Dower, H. J.* (1984): Human beta-casein. Amino acid sequence and identification of phosphorylation sites. *Journal of Biological Chemistry.* 259, (8) 5132–5138.
- Groen, A. F. - van der Vegt, R. - van Boekel, M. A. - de Rouw, O. L. A – Vos, H.* (1994): Case study on individual animal variation in milk protein composition as estimated by highpressure liquid chromatography. *Netherland Milk & Dairy Journal.* 48, 201–212.
- Grosclaude, F. – Mahe, M. F. – Mercier, J. C. - Ribadeau-Dumas, B.* (1972): Characterization of genetic variants of α_{S1} and bovine caseins. *European Journal of Biochemistry.* 26, (3) 328–337.
- Groves, M. L.* (1969): Some minor components of casein and other phosphoproteins in milk. A review. *Journal of Dairy Science* 52, (8) 1155–1165.
- Guinee, T. P.* (2003): Role of protein in cheese and cheese products. In *Advanced Dairy Chemistry.* Springer, New York, NY.
- Gustavsson, F. – Buitenhuis, A. J. – Johansson, M. – Bertelsen, H. P. – Glantz, M. – Poulsen, N. A. –Lindmark Mansson, H. – Stalhammar, H. – Larsen, L. B. – Bendixen C. Paulsson, M. – Andrén, A.* (2014): Effects of breed and casein genetic variants on protein profile in milk from Swedish Red, Danish Holstein, and Danish Jersey cows. *Journal of Dairy Science.* 97, (6) 3866-3877.
- Gutierrez, J. E. N. – Jakobovits, L.* (2003): Capillary electrophoresis of α -lactalbumin in milk powders. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 51, (11) 3280–3286.
- Hallen, E.- Allmere, T.- Naslund, J.- Andren, A.- Lunden, A.* (2007): Effect of genetic polymorphism of milk proteins on rheology of chymosin-induced milk gels. *International Dairy Journal.* 17, (7) 791-799.
- Hambraeus, L. – Lonnerdal, B.* (2003): Nutritional aspects of milk proteins. *Advanced Dairy Chemistry.* Springer, Boston, MA.

- Hames, B. D. – Rickwood, D. (1998): Gel Electrophoresis of Proteins: A Practical Approach, Oxford University Press.*
- Hayes, H. –Petit, E. (1993): Mapping of the β -lactoglobulin gene and of an immunoglobulin M heavy chain-like sequence in homologous cattle, sheep and goat chromosomes. Mammalian Genome. 4, (4) 207– 210.*
- Heck, J. M. L. – Olieman, C. – Schennink, A. - van Valenberg, H. J. F. – Visker, M. H. P. W. – Meuldijk, R. C. R. – van Hooijdonk, A. C. M. (2008): Estimation of variation in concentration, phosphorylation and genetic polymorphism of milk proteins using capillary zone electrophoresis. International Dairy Journal. 18, (5) 548–555.*
- Heck, J. M. L. – Schennink, A. – van Valenberg, H. J. F. – Bovenhuis, H. – Visker, M. H. P. W. – Arendonk, J. A. M. van Hooijdonk, A. C. M. (2009): Effects of milk protein variants on the protein composition of bovine milk. 92, (3) 1192-1202.*
- Hinz, K. - O'Connor, P. M. – Huppertz, T. – Ross, R. P.- Kelly, A. L. (2012): Comparison of the principal proteins in bovine, caprine, buffalo, equine and camel milk. Journal of Dairy Research. 79, (2) 185-191.*
- Holland, B. – Rahimi, Yazdi S. - Ion Titapiccolo, G. – Corredig, M. (2010): Short communication: separation and quantification of caseins and casein macropeptide using ion-exchange chromatography. Journal of Dairy Science. 93, (3) 893-900.*
- Huppertz, T. (2013): Chemistry of the caseins. In Advanced Dairy Chemistry. Springer.*
- Ikonen, T. – Ahlfors, K. – Kempe, R. – Ojala, M.- Ruottinen, O. (1999): Genetic parameters for the milk coagulation properties and prevalence of noncoagulating milk in Finnish dairy cows. Journal of Dairy Science. 82, (1) 205-214.*
- Ikonen, T. – Ojala, M – Syvaioja, E. L. (1997): Effects of composite casein and β -lactoglobulin genotypes on renneting properties and composition of bovine milk by assuming an animal model. Agricultural and Food Science Finland. 6, (4) 283-294.*
- Jenness, R. – Larson, B. L. – McMeekin, T. L. – Swanson, A. M. – Whitnah, C. H. – Whitney, R. McL. (1956): Nomenclature of the proteins of bovine milk. Journal of Dairy Science. 39, (5) 536-54.*
- Jensen, H. B. – Holland, J. W. – Poulsen, N. A. – Larsen, L. B. (2012/a): Milk protein genetic variants and isoforms identified in bovine milk representing extremes in coagulation properties. Journal of Dairy Science. 95, (6) 2891-2903.*
- Jensen, H. B. – Poulsen, N. A. – Andersen, K. K. – Hammershoj, M. – Poulsen, H. D – Larsen, L. B. (2012/b): Distinct composition of bovine milk from Jersey and Holstein-*

- Friesian cows with good, poor, or noncoagulation properties as reflected in protein genetic variants and isoforms. *Journal of Dairy Science*. 95, (12) 6905–6917.
- Kaminski, S. – Cieslinska, A. – Kostyra, E.* (2007): Polymorphism of bovine beta-casein and its potential effect on human health. *Journal of Applied Genetics*. 48, (3) 189-198.
- Kinghorn, N. M. – Norris, C. S. – Paterson, G. R. – Otter, D. E.* (1995): Comparison of capillary electrophoresis with traditional methods to analyse bovine whey proteins. *Journal of Chromatography A*. 700, (1-2) 111–123.
- Kinsella, J. E. – Morr, C. V.* (1984): Milk proteins: physicochemical and functional properties. *Food Science and Nutrition*. 21, (3) 197–262.
- Kurien, B. T.- Scofield, R. H.* (2005): Western blotting. *Methods*. 38, 283-293.
- Laemmli, U.K.* (1970): Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*. 227, 680-685.
- Lin, S. – Sun, J. – Cao, D. – Cao, J.- Jiang, W.* (2010): Distinction of different heat-treated bovine milks by native-PAGE fingerprinting of their whey proteins. *Food Chemistry*. 121, (3) 803-808.
- Ma, L. – Yang, Y. – Chen, J. – Wang, J. – Bu, D.* (2017): A rapid analytical method of major milk proteins by reversed-phase high-performance liquid chromatography. *Animal Science Journal*. 88, (10) 1623-1628.
- Mackle, T. R. – Bryant, A. M. – Petch, S. F. – Hill, J. P. – Auldist, M. J.* (1999): Nutritional influences on the composition of milk from cows of different protein phenotypes in New Zealand. *Journal of Dairy Science*. 82, (1) 172–180.
- Martin, P. – Szymanowska, M. – Zwierzchowski, L. – Leroux, C.* (2002): The impact of genetic polymorphisms on the protein composition of ruminant milks. *Reproduction Nutrition Development*. 42, (5) 433–459.
- Marziali, A. S. - Ng-Kwai-Hang, K. F.* (1986): Relationships between milk protein polymorphism and cheese yielding capacity. *Journal of Dairy Science*. 69, (5) 1193-1201.
- McSweeney, P. L. H. – Fox, P. F.* (1997): Chemical methods for the characterization proteolysis in cheese during ripening. *Lait*. 77, (1) 41–76.
- Melachouris, N. P. – Tuckey, S. L.* (1966): Changes of the Proteins in Cheddar Cheese Made from Milk Heated at Different Temperatures. *Journal of Dairy Science*. 49, (7) 800-805.
- Mercier, J. C.* (1981): Phosphorylation of caseins, present evidence for an amino acid triplet code posttranslationally recognized by specific kinases. *Biochimie*. 63, (1) 1-17.

- Nazzaro, F. – Orlando, P. – Fratianni, F. – Di Luccia, A. – Coppola, R.* (2012): Protein analysis-on-chip systems in foodomics. *Nutrients*. 4, (10) 1475–1489.
- Ng-Kwai-Hang, K. F. – Grosclaude, F.* (2003): Genetic Polymorphism of milk proteins. *Advanced Dairy Chemistry*. Springer. US.
- Ng-Kwai-Hang, K. F. – Hayes, J. F. – Moxley, J. E. – Monardes, H. G.* (1987): Variation in milk protein concentrations associated with genetic polymorphism and environmental factors. *Journal of Dairy Science*. 70, (3) 563–570.
- Ng-Kwai-Hang, K. F. – Hayes, J. F. – Moxley, J. E. – Monardes, H. G.* (1984): Association of genetic variants of casein and milk serum proteins with fat, and protein production by dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 67, (4) 835-840.
- Ng-Kwai-Hang, K. F.* (2002): Heterogeneity, fractionation and isolation. In *Encyclopaedia of Dairy Sciences*. Academic Press. London.
- O'Farrell, P. H.* (1975): High resolution two-dimensional electrophoresis of proteins. *Journal of Biological Chemistry*. 250, (10) 4007-4021.
- O'Mahony, J. A. – Fox, P. F. – Kelly, A. L.* (2013): Analysis, Electrophoresis. In *Encyclopedia of Dairy Sciences*. Academic Press. New York.
- O'Brien, B. – Mehra, R. – Connolly, J. F. – Harrington, D.* (1999): Seasonal variation in the composition of Irish manufacturing and retail milks. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. 38, (1) 53-64.
- Ong, S. E. – Pandey, A.* (2001): An evaluation of the use of twodimensional gel electrophoresis in proteomics. *Biomolecular Engineering*. 18, (5) 195-205.
- Ortega, N. – Albillos, S. M. – Busto, M. D.* (2002): Application of factorial design and response surface methodology to the analysis of bovine caseins by capillary zone electrophoresis. *Food Control*. 14, (5) 307-315.
- Ostensen, S. – Foldaber, J. – Hermansen, J. E.* (1997): Effects of stage of lactation, milk protein genotype and body condition at calving on protein composition and renneting properties of bovine milk. *Journal of Dairy Research*. 64, (2) 207–219.
- Otte, J. – Zakora, M. – Kristiansen, K. R. – Qvist, K. B.* (1997): Analysis of bovine caseins and primary hydrolysis products in cheese by capillary zone electrophoresis. *Lait*. 77, (2) 241-257.
- Parris, N. – Baginski, M. A.* (1991): A rapid method for the determination of whey protein denaturation. *Journal of Dairy Science*. 74, (91) 58 - 64.

- Patel, H. A. – Singh, H. – Anema, S. G. – Creamer, L. K.* (2006): Effects of heat and high hydrostatic pressure treatments on disulfide bonding interchanges among the proteins in skim milk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54, 3409–3420.
- Paulsson, M. – Dejmek, P.* (1990): Thermal denaturation of whey proteins in mixtures with caseins studied by differential scanning calorimetry. *Journal of Dairy Science*. 73, (3) 590-600.
- Pesic, M. – Barac, M. – Vrvic, M. – Ristic, N. – Macej, O. – Stanojevic, S.* (2011). Qualitative and quantitative analysis of bovine milk adulteration in caprine and ovine milks using native-PAGE. *Food Chemistry*. 125, (2) 1443-1449.
- Pisano, A. – Packer, N. H. – Redmond, J. W. – Williams, K. L. – Gooley, A.* (1994): Characterization of O-linked glycosylation motifs in the glycopeptide domain of bovine κ casein. *Glycobiology*. 4, (6) 837-844.
- Poulsen, N. A.- Jensen, H. B. – Larsen, L. B.* (2016): Factors influencing degree of glycosylation and phosphorylation of caseins in individual cow milk samples. *Journal of Dairy Science*. 99. (5) 3325-3333.
- Reico, I. – Molina, E. – Ramos, M. – de Frutos, M.* (1995): Quantitative analysis of major whey proteins by capillary electrophoresis using uncoated capillaries. *Electrophoresis*. 16, (4) 654-658.
- Recio, I. – Oileman, C.* (1996): Determination of denatured serum proteins in the casein fraction of heat-treated milk by capillary zone electrophoresis. *Electrophoresis*. 17, (7) 1228-1233.
- Recio, I. - Pérez-Rodríguez, M. L. – Ramos, M. – Amigo, L.* (1997): Capillary electrophoretic analysis of genetic variants of milk proteins from different species. *Journal of Chromatography A*. 768, (1) 47-56.
- Recio, I. – Ramos, M. - López-Fandino, R.* (2001): Capillary electrophoresis for the analysis of food proteins of animal origin. *Electrophoresis*. 22, (1) 1489-1502.
- Reynolds, J. A. – Tanford, C.* (1970): The gross conformation of protein-sodium dodecyl sulfate complexes. *Journal of Biological Chemistry*. 245, (19) 5161–5165.
- Rijnkels, M.* (2002): Multispecies comparison of the casein gene loci and evolution of the casein gene family. *Journal of Mammary Gland Biology Neoplasia*. 7, (3) 327-345.
- Schaar, J. – Hansson, B. – Pettersson, H. E.* (1985): Effects of genetic variants of kappa casein and beta lactoglobulin on cheesemaking. *Journal of Dairy Research* 52, (3) 429–438.

- Sharma, N. - Rajan Sharma, R. – Yudhishtir, Y. S. – Mann, B. (2021): Separation methods for milk proteins on polyacrylamide gel electrophoresis: Critical analysis and options for better resolution. International Dairy Journal. 114, (1) 198-204.*
- Schagger, H. (2006): Tricine - SDS-PAGE. Nature Protocols. 1, (1) 16–22.*
- Shapiro, A. L. – Vinuela, E. – Maizel, J. V. Jr. (1967): Molecular weight estimation of polypeptide chains by electrophoresis in SDS-polyacrylamide gels, Biochemical and Biophysical Research Communications. 28, (5) 815-820.*
- Sheehan, D. (2009): Physical Biochemistry: Principles and Applications. John Wiley & Sons.*
- Singh, H. (1995): Heat induced changes in casein including interactions with whey proteins. In Heat-induced changes in milk. International Dairy Federation, Belgium.*
- Smith, B. J. (1984): SDS polyacrylamide gel electrophoresis of proteins. Humana Press, New York.*
- Smithies, O. (1955): Zone electrophoresis in starch gels: group variations in the serum proteins of normal human adults. Biochemical Journal. 61, (4) 629–641.*
- Strange, E. D. - van Hekken, D. – Thompson, M. P. (1991): Qualitative and quantitative determination of caseins with reverse phase and anion exchange HPLC. Journal of Food Science 56, (1) 1415–1420.*
- Strickland, M. – Johnson, M. E. – Broadbent, J. R. (2001): Qualitative and quantitative analysis of proteins and peptides in milk products by capillary electrophoresis. Electrophoresis. 22, (8) 1510–1517.*
- Swaigood, H. E. (1982): Chemistry of milk protein. In Fox, P. F. Developments in Dairy Chemistry-1. Elsevier Applied Science, London.*
- Swaigood, H. E. (1992): Chemistry of the caseins. In Advanced dairy chemistry. szerk. Fox, P. F. New York.*
- Threadgill, D. W. – Womack, J. E. (1990): Genomic analysis of the major bovine milk protein genes. Nucleic Acids Research. 18, (23) 6935-6942.*
- Tran, N. T. – Ayed, I. – Pallandre, A. – Taverna, M. (2010): Recent innovations in protein separation on microchips by electrophoretic methods: An update. Electrophoresis. 31, (1) 147–173.*
- Tremblay, L. – Laporte, M. F. – Lenoil, J.- Dupont, D. – Paquin, P. (2003): Quantitation of proteins in milk and milk products. In Advanced Dairy Chemistry, Proteins, Kluwer Academic Plenum Publishers, New York.*

Verdi, R. J. – Barbano, D. M. – Dellavalle, M. E. – Senyk, G. F. (1987): Variability in true protein, casein, nonprotein nitrogen and proteolysis in high and low somatic-cell milks. *Journal of Dairy Science.* 70, (2) 230-242.

Visser, S.- Slangen, C. J. – Rollema, H. S. (1991): Phenotyping of bovine milk proteins by reversed-phase highperformance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A.* 548, (1-2) 361–370.

Visser, S. – Slangen, K. J. – Rollema, H. S. (1986): High performance liquid chromatography of bovine caseins with the application of various stationary phases. *Milchwissenschaft* 41, (9) 559–562.

Vreeman, H. J. – Visser, S. – Slangen, C. J. - Van Riel, J. A. (1986): Characterization of bovine kappa-casein fractions and the kinetics of chymosin-induced macropeptide release from carbohydrate-free and carbohydrate-containing fractions determined by high-performance gel-permeation chromatography. *The Biocemical Journal.* 240, (1) 87-97.

Walstra, P. (1999): Casein sub-micelles: do they exist? *International Dairy Journal.* 9, (3/6) 189-192.

Walstra, P. – Wouters, J. T. M. – Geurts, T. J. (2006): *Dairy Science and Technology.* Taylor and Francis Group. Boca Raton.

Wang, J. – Zhang, Q. H. – Wang, Z. H. – Li, H. M. (2009): Determination of major bovine milk proteins by reversed phase high performance liquid chromatography. *Chinese Journal of Analytical Chemistry.* 37, (11) 1667–1670.

Wedholm, A. – Larsen, L. B. - Lindmark-Mansson, H. – Karlsson, A. H. – Andrén, A. (2006): Effect of protein composition on the cheesemaking properties of milk from individual dairy cows. *Journal of Dairy Science.* 89, (9) 3296–3305.

Westermeier, R. (2011): Electrophoresis in Gels. In *Protein Purification: Principles, High Resolution Methods, and Applications*

Yukalo, V. – Datsyshyn, K. – Storozh, L. (2019): Electrophoretic system for express analysis of whey protein fractions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2, (737) 37–44.

A szerző levélcíme – Address of the authors:

Buzás Henrietta

Magyar Tejgazdasági Kísérleti Intézet Kft.

9200, Mosonmagyaróvár Lucsony utca 24.

E-mail cím: hbuzas@mtki.hu

SZEMLE



A CUKORRÉPA (*BETA VULGARIS* L.) LEGJELENTŐSEBB FERTŐZŐ BETEGSÉGEI ÉS AZ ELLENÜK VALÓ VÉDEKEZÉS LEHETŐSÉGEI

BIRÓ ÁKOS FERENC – KUKORELLI GÁBOR – MOLNÁR ZOLTÁN

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar,
Növénytudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

ÖSSZEFOGLALÓ

A cukorrépa termesztése igen költséges és kockázatos, de egyben nagyon jövedelmező vállalkozás a többi, hazánkban termesztett szántóföldi növénykultúrához képest. Növényvédelmi tekintetben a cukorrépa-termesztés sikerességét a rovarok és gyomok elleni védekezés mellett, jelentősebb mértékben befolyásolja a speciális kórtani problémák megoldása. A világ cukorrépa-termesztő körzeteiben jelenlevő domináns kórokozók, azonbelül is, a különféle vírusok és gombák okoznak jelentősebb, bár termőhelyenként sokszor eltérő mértékű gazdasági károkat. Ezen betegségek kórtani lefolyásának és tüneteinek, adott termőhelyeken történő előfordulásának, annak gyakoriságának, valamint egy esetleges járványhoz vezető, a kórokozó számára optimális környezet lehetséges meglétének ismerete, mind-mind elengedhetetlen az ellenük történő eredményes védekezés érdekében.

Kulcsszavak: cukorrépa, cukorrépa kórokozói

BEVEZETÉS

A kórokozók rendkívül fontos szerepet játszanak a jelenlegi répacukoripar területi eloszlásában. A cukorrépanövény, mint a tudomány terméke, termesztési sikere szempontjából nagymértékben a tudomány azon képességétől függ, hogy képes-e kontroll alatt tartani az őt károsító növénybetegségeket.

A cukorrépanak egyaránt ismertek vírusok, baktériumok és gombák által okozott betegségei a világon mindenhol, széles körben elterjedve.

VÍRUSOK OKOZTA BETEGSÉGEK

RÉPAMOZAIK

Kórokozó

A Beet Mosaic Virus (továbbiakban BMV) az egyik legszélesebb körben elterjedt vírus, mely betegíti a cukorrépat, s talán az egész világon jelen van, ahol cukorrépat termesztnek (*Duffus*, 1960; *Russell*, 1971).

Tünetek

A BMV egy jellegzetes foltosodást okozó vírus, hasonlóan más növényeket fertőző mozaikvírusokhoz. A tünetek kezdetben a fiatal leveleken klorotikus foltokként, vagy klorotikus gyűrűk formájában jelennek meg. A folt-tüneteknek ennél sokkal több változata létezik, de abban megegyeznek, hogy a mozaikminta általában a zöld különféle árnyalatainak szabálytalan foltjaiból tevődik össze (*Duffus*, 1960). A tünetek kialakulását erősen befolyásolja például a fertőzés ideje, a fajta reakciója és az időjárási viszonyok (*Milinkó*, 1967).

Gazdasági jelentőség

A BMV-fertőzés nyomán kialakult termésveszteség elérheti a 25-30%-ot, magtermesztésben pedig akár az 50%-os magveszteség is a számlájára írható (*Klinkowski*, 1958).

Védekezés

A répamagtermesztő területek izolálása (legalább 2 km), hatékony gyomszabályozás, megcélozva a gazdanyövényeket (pl., *Amaranthus spp.*, *Chenopodium spp.*, *Trifolium spp.*, *Stellaria media*, *Spinacia oleracea*), vektorok (pl., *Aphis fabae*, *Myzus persicae*) elleni védekezés, rezisztenciára nemesítés (*Duffus*, 1963).

RÉPASÁRGASÁG

Kórokozók

A cukorrépafélede sárgulását először egy holland virológus, Hendrik Marius Quanjér jegyezte le 1934-ben, aki már 1910-től végezte ilyen irányú megfigyeléseit (*Quanjér*, 1934). A répa vírusos sárgulását több különböző vírus is okozhatja (*Russell*, 1960).

A Beet Yellow Virus (továbbiakban BYV) volt az elsőként meghatározott kórokozó ezen vírusok közül (*Watson*, 1940), mely széles körben elterjedt a világ répatermesztő régióiban. Magyarországon ez a legelterjedtebb répasárgaságot okozó vírus (*Pocsai*, 2020).

A Beet Western Yellow Virus (továbbiakban BWYV) a cukorrépa legszélesebb körben elterjedt víruskórokozója, mely a leggyakrabban felelős a sárgaságos megbetegedésért, és az ebből adódó termésvesztésért, bárhol is termesztik a növényt a világon (*Duffus-Russel*, 1970).

A Beet Yellow Stunt Virus (továbbiakban BYSV) egy potenciális répasárgaságot okozó vírus. Az Egyesült Államokban írták le, hogy nagyon gyakran fordul elő a szelíd csorbókában (*Sonchus oleraceus* L.) (*Duffus*, 1964), amely gyomnövény Magyarországon is közönséges.

Tünetek

A BYV először a növények fiatal leveleiben az erek sárgulását idézi elő. Az érsárgulás lehet nagyon élénk színű vagy nekrotikus megjelenésű. A másodlagos és a köztes levélerek gyakran beesettnek tűnnek, melyet „perzselési” tünetek követnek. Ezen levélerek által határolt szövetrészek megvastagodnak, jellegzetes tünetet, a levelek érszalagosodását okozva (*Esau*, 1960).

A BWYV tünetei a fertőzést követő 2-5 héttel jelennek az idősebb és középkorú leveleken. A tünetek az érközőkben megjelenő, enyhén klorotikus foltosodással jelentkeznek. A fertőzés előrehaladtával a sárgulás intenzívebbé válik, és egyre több érköző sárgul el. Az idősebb fertőzött levelek megvastagodnak, törékennyé válnak, és szinte teljesen megsárgulnak, kivéve a levélerek menti zöld részeket (*Duffus*, 1960). Gyakran kíséri másodlagos, alternáriás (*Alternaria alternata*) gombafertőzés (*Russell*, 1960).

A BYSV kezdeti tünetei gyakran a közép szinten lévő egy-két levél csavarodásában, kanalasodásában, illetve lekonyulásában nyilvánulhatnak meg. A levélnyelek rövidülnek, a levelek pedig pettyezettek lesznek és sárgulnak. A fiatal levelek törpültek, torzultak, csavarodottak és enyhén pettyezettek. A levelek öregedésével a pöttyök egyre intenzívebbé, a levelek néha teljesen klorotikussá válnak. A fertőzött növények erősen törpülnek, fejlődésük teljesen leállhat így el is pusztulhatnak (Duffus, 1964).

Gazdasági jelentőség

A sárgaságvírusok a répa legveszedelmesebb víruskórokozói. Mindegyik esetében elmondható, hogy a cukorhozam veszteségének nagysága függ a fertőzés idejétől. A kései fertőzésnek gyengébb hatása van, míg a korai fertőzések képesek a termést akár 30-47%-kal, a cukorhozamot 35%-kal is csökkenteni (Heijbroek, 1988; Smith-Hallsworth, 1990).

Védekezés

A védekezés módja a mozaikvírusnál tárgyaltakkal megegyezik. A gyakorlatban a kórokozók elleni védekezést összekapcsolják (Milinkó, 1967).

A RÉPA NEKROTİKUS SÁRGAERŰSÉGE (RIZOMÁNIA)

Kórokozó

A Beet Necrotic Yellow Vein Virust (a továbbiakban: rizománia) több mint húsz országban kimutatták (Putz *et al.*, 1990). Gombák által terjesztett, ún. furovírusok csoportjába tartozik (Cooper-Asher, 1988).

Terjedésében a legfontosabb szerepet a *Polymyxa betae* Keskin, talajban élő nyálkagomba játssza, amelynek zoospórái fertőznek. Újabb vizsgálati eredmények alapján feltételezhető, hogy a vírus átvitelében a *Heterodera schachtii* Schmidt. (syn.: *Globodera schachtii* Schmidt.) fonálféreg is szerepet játszik (Feyaerts-Coosemans, 1989).

Tünetek

A fertőzés klasszikus tünete, amely után a vírust is elnevezték (Tamada-Baba, 1973), a levélek sárgulása, mely végül nekrotikussá és halványbarna színűvé válik. Ez a tünet azonban viszonylag ritka, mivel általában úgy tűnik, hogy a megbetegedés a gyökérre

korlátozódik, és csak alkalmanként válik szisztemikussá, gyakran csak erős esőzések és magas hőmérséklet kombinációja után.

A leveleken világoszöld foltosodás, mozaik, lemezkeskenyedés és fonnyadás jelentkezik. A répatestek növekedése leáll. A legjellemzőbb tünet a répatesten megfigyelhető, ún. igen erős oldalgöyökér-képződés, „szakállasodás”-nak is nevezett gyökérburjánzás (Canova, 1967).

Gazdasági jelentőség

A vírusfertőzés következtében jelentős a gyökértermés-veszteség és a cukortartalom-csökkenés. A termésveszteség mértéke nagyban függ a talaj fertőzőanyag-készletétől, a tenyészidőszak alatti időjárás alakulásától és a fertőzés idejétől. A cukorrépanövények rizomániás foltjain belülről és kívülről vett mintákból becsült hozamveszteség azt jelzi, hogy a cukortermelés 50-60% -os csökkenése nem ritka (Heijbroek, 1989). A rizomániás betegség igen komoly károkat okoz a cukorrépában, az okozott termésveszteség 50-70%, továbbá a répa cukortartalmát 2-4%-kal csökkenti (Pocsai, 2020). Jelentősége a toleráns fajták elterjedésével csökkent.

A betegség Magyarországon 1982 óta ismert, és fokozatosan terjed (Virág, 1982; Johansson, 1985; Horváth, 1994a).

Védekezés

Hosszú távon legígéretesebb védekezési lehetőség a rezisztenciára nemesítés. Újabb ismertté váltak a vírussal szemben ellenálló vad *Beta*-fajok (*Beta maritima* (L.) Arcang, *Beta webbiana* Moq.), amelyek keresztezhetők *Beta vulgaris* L. fajjal (Whitney, 1989; Horváth, 1994b). Jelenleg rengeteg vírustoleráns fajta (pl. Smart Belamia, Smart Djerba, Balaton, Hurricane, Komodo stb.) van a köztermesztésben (NÉBiH, 2020). Ezen túl vetésváltással, a növény számára megfelelő tápanyagellátás biztosításával, talajlazítással, viszonylag korai vetéssel is csökkenthetjük valamelyest a fertőzés kockázatát. Számításba vehető még a gazdaggyomok irtása és a túllöntözés elkerülése (Asher, 1987).

GOMBÁK OKOZTA BETEGSÉGEK

RÉPAPERONOSZPÓRA**Kórokozó**

A *Peronospora farinosa* f. *sp. betae* Fr. (syn. *P. betae*, *P. schachtii*) az Oomycetes osztályba, a Peronosporales renbe és a Peronosporaceae családba (Mycobank, 2020) tartozó obligát parazita ún. „moszatgomba” (Hawksworth et al. 1983; 1995). A moszatgomba a növényi sejtek között fejlődik, majd a gazdasejtbe hatoló hausztóriumai segítségével elszívja a tápanyagokat azokból. Morfológiáját tekintve, a kettős elágazású, változatos hosszúságú (177-653 µm) konídiumtartók a konídiumokkal a végükön, egyenként vagy 2-3-as csoportban jelennek meg a légzőnyílásokban. A konídiumok oválisak, egysejtűek, átlátszóak (hialin) vagy halvány ibolyakék színűek, simák, méretük 20-28 x 17-24 µm nagyságú, csíratömlőt fejlesztenek (Leach, 1931).

Kizárólag a *Beta* nemzetségbe tartozó fajokat fertőzi, annak változatait, mint például a takarmányrépát, cukorrépát, mángoldot, céklát (Leach, 1931; Byford, 1967a).

Tünetek

A kórokozó elpusztítja a fiatal növényeket, csirakortól a 2-4 leveles állapotig. Mégis leggyakrabban az idősebb növények fiatal szívleveleit fertőzi. Kicsi, halványzöld-sárgult, torzult, helyenként megvastagodott, ráncos, törekeny leveleket idéz elő, melyek a fonák irányába besodródznak, hólyagosodnak. A levelek fonákján szürkéslila penészgyep alakul ki, majd a levelek 8-10 nap alatt elszáradnak. A fertőzött magrépa szára elszárad, a növény nem hoz termést. Meleg, száraz időben a betegség terjedése leáll (Leach, 1931).

Gazdasági jelentőség

A korai fertőzés okozhat akár 30%-os veszteséget a cukortermésben (Milinkó, 1967). Tipikus, mérsékeltén hűvös időjárásban fellépő betegség. Hazánkban áttelelő magrépákon ősszel és hűvös tavaszokon terjed el. A magrépákban 20–50% kipszítulást, és ennek arányában a magtermés jelentős csökkenését okozza. Tartósan hűvös időjárás esetén a magrépák közelében lévő ipari répákat is fertőzi (Fischl et al, 1995).

Napjainkban már nem jelentős, ipari répában csak helyileg fordul elő. A magrépának volt veszélyes betegsége (Szentey, 2014).

Védekezés

A fertőzés terjedését kerüendő, be kell tartani a magtermő és iparirépa-termesztő területek közötti izolációs távolságot, mely legalább 400-1500 m (Byford, 1967b), mások szerint 2000 m kell legyen (Fischl et al, 1995).

Törekedni kell a teljes, homogén tőszámú növényállomány kialakítására, egyenletes és optimális mennyiségű nitrogénműtrágya adagolására, korai vetésre, melyekkel csökkenteni lehet a betegség előfordulásának kockázatát (Byford, 1967b). Magtermesztéshez beteg dugványokat ne használjunk (Fischl et al, 1995).

A növényi maradványok leszántása és a vetésváltás (4–6 éves; Fischl et al, 1995) betartása ugyancsak csökkenti az elsődleges fertőzési forrásokat a későbbi cukorrépanövények számára (Byford, 1981).

Az áttelelő magrépát már az őszy folyamán preventív fungicidkezeléssel kell védeni. Bevált hatóanyagok: metalaxil, réztartalmú fungicidek stb. A magrépát tavasszal is megelőző jelleggel védeni kell. Erős fertőzés esetén az ipari répákon is gazdaságos a védekezés (Fischl et al, 1995).

RÉPALISZTHARMAT

Kórokozó

A cukorrépa lisztharmatát az *Erysiphe betae* (Vanha) (*syn. Erysiphe polygani*, *E. communis*, *Oidium erysiphoides*, *Microsphaera betae*) aszkospórás, Erysiphaceae családba tartozó gomba okozza (Weltzien, 1963). Morfológiáját tekintve konídiumai egysejtűek (nagyságuk: 30-56 x 13-20 µm), elliptikusak, hialinok (átlátszóak), melyek a levelek felszínén lévő hifákból eredő konídiumtartókon 60-100 µm hosszú bazipetális láncokat alkotnak (Drandarevski, 1969).

Tünetek

A levelek fehéres, lisztes bevonatát képező hifák és konídiumok alkotta kicsi, szétszórt, sugárzó telepek a vetés után 2-6 hónappal jelennek meg először a cukorrépanövények alsó, idősebb levelein. A gomba gyorsan terjed át a felsőbb levelek felszínére, ritkán az alsóbbakra, ezáltal a levelek piszkos-fehér színűekké válhatnak a micélium- és a rajta képződött konídiumtömegektől. Az alatta lévő szövet klorotikussá válhat, végül fakóbarna árnyalatba színeződve el (Ruppel et al., 1975).

Gazdasági jelentőség

A cukorrépat károsító gombabetegségek közül a cercospóras levélrága után a répalisztharmat a legjelentősebb Magyarországon (Kimmel, 1997). Egy korai, június eleji lisztharmatfertőzés is okozhat lombvesztést, ezzel kényszerítve a répat levélváltásra (Pecze, 1998). Enyhébb szintű fertőzés is veszélyes, mert előidézi a levélszövetek gyors öregedését (Kiss, et al., 1984). Hazánkban a jelentősége növekszik az egyre gyakoribb aszályos nyaraknak és virulensebb biotípusok elterjedésének köszönhetően (Schweigertné, 1997).

Védekezés

Annak ellenére, hogy korábban beszámoltak lisztharmatrezisztens cukorrépvonalakról (Russel, 1969, Whitney et al., 1983), a betegség elleni védekezés kizárólag gombaölőszerkezeléssel megoldható jelenleg. Széles körben elterjedtek a különböző kéntartalmú és felszívódó készítmények egyaránt (Hills et al., 1975; Frate et al., 1979; Burtch et al., 1983). A gombaölő szerek védekezés megfelelő időzítése kritikus, az első tünetek megjelenésekor azonnal el kell végezni. Egy-két hetes késés a permetezésben, akár 10-15% termésvesztéget is okozhat (Hills et al., 1975).

A RÉPA CERKOSPÓRÁS LEVÉLRAGYÁJA

Kórokozó

A *Cercospora beticola* Sacc. (Saccardo, 1876) a gombák (Fungi) Ascomycota törzsébe, a Dothideomycetes osztályába, a Capnodiales rendjébe, és azon belül a Mycosphaerellaceae családjába tartozó konídiumtartós, nekrotróf, növényi kórokozó gomba (Index Fungorum, 2020; Mycobank, 2020).

Csak az anamorf (ivartalan) alakja ismert (Crous et al., 2001; Groenewald et al., 2013). A hifák áttetszőek (hialin) vagy halvány olajbarnák, sejtközöttiek, harántfallal tagoltak, 2-4 µm átmérőjük, pszeudostromatákat képeznek a gazdanövény légzőnyílás alatti üregében, amelyekből konídiumtartó kötegek nőnek ki. A légzőnyílásokon át törnek elő a konídiumtartók, amelyek 10-100 (legtöbb 46-60) x 3-3,5 µm nagyságúak, elágazás nélküliek, egyenesek vagy hajlékonyak, enyhén térszerűen hajlítottak. Alig harántoltak, alapjukhoz közel halvány barna színűek, míg a csúcsuk közelében majdnem áttetszőek

(hialin), kis feltűnő konidiális hegekkel a térdhajlatoknál és a csúcsnál (*Pool-McKay*, 1916).

Tünetek

A konidiumok fejlődéséhez szükséges minimális környezeti feltételek a legalább 15°C-os hőmérséklet és 60%-os vagy magasabb relatív páratartalom (*Pool-McKay*, 1916; *Solel-Minz*, 1971). A szél, eső, öntözés, vízfelverődés vagy rovarok által a spórák tovább terjednek, rákerülnek a cukorrépalevelek fonákjára vagy a levélnevelek lefelé néző felületére, ezáltal megindítva a további fertőzést (*Lawrence-Meredith*, 1970; *Khan et al.*, 2007).

A tünetek 3–5 mm nagyságú, barnásszürke színű, kör alakú foltokként jelennek meg, amelyeket sötétbarna vagy vöröseslilas szegély vesz körül (*Windels et al.*, 1998). A tünetek kedvező környezeti feltételek mellett, mint a magas páratartalom (> 90%) és a magas hőmérséklet (nappal 27–32 °C, éjszaka 16 °C fölött legalább 15-18 órán keresztül naponta) az idősebb leveleken akár 5 nappal a fertőzés után már kialakulhatnak (*Pool-McKay*, 1916; *Solel-Minz*, 1971). Szabadföldön ezeket a jellegzetes tüneteket jellemzően a lombzáródás után lehet megfigyelni általában (*Khan et al.*, 2008).

Gazdasági jelentőség

A betegséget először Saccardo 1876-ban Olaszországban írta le mángoldon (*Beta vulgaris subsp. cicla*), de mára világszerte mindenhol azonosították, ahol cukorrépát termesztnek (*Ruppel*, 1986).

Fő kártétele, a cukorrépa lombvesztésén és ezáltal előidézett levélváltásán keresztül, az igen jelentős veszteség a cukorkihozatalban, amely közepes vagy magas fertőzési nyomás mellett megközelítheti az 50%-ot (*Shane-Teng*, 1992).

Magyarországon leggyakrabban ez a gomba okozza a cukorrépa-állományokban a legjelentősebb termésvesztéget termesztési körzettől függetlenül (*Kimmel*, 1999).

Védekezés

A cercospórák levélrágja elleni integrált védekezés magába foglalja a helyes talajművelési gyakorlatot, a cukorrépa mérsékelt rezisztenciáját a kórokozóra és a gombaölő szerek kezeléseik időben történő alkalmazását (Ruppel, 1986).

A betegség megjelenésének majd súlyosságának előrejelzésére és fejlődésének nyomon követésére járványtani modelleket dolgoztak ki a gombaölő szerek kezeléseik megfelelő időzítése érdekében (Rossi-Battilani, 1991; Windels et al., 1998; Pitblado-Nichols, 2005; Racca-Jörg, 2007).

A gombaölő szerek kezeléseiket korán, megelőző jelleggel (preventíven) kell elvégezni a primer fertőzéseket célozva, hogy elkerüljük a konidiális populációk kialakulását, amelyek megfertőzhetik az új, védtelen leveleket. A kontakt és szisztemikus gombaölő szerek egymást felváltva vagy tankkeverékekben történő alkalmazása késleltethetik a rezisztens kórokozótörzsek kialakulását (Ruppel, 1986; Kimmel, 1999).

A RÉPA RAMULÁRIÁS LEVÉLFOLTOSSÁGA

Kórokozó

A *Ramularia beticola* Fautr. & Lambotte a konídiumos gombák (Deuteromycetes) csoportjába, azon belül pedig a konídiumtartós gombák közé tartozó gomba (Mycobank, 2020).

A gombának a konídiumtartó nyalábjai a levelek légzőnyílásain keresztül nőnek ki, rövidnek, félig vagy teljesen áttetszőek (hialin). A konídiumai áttetszőek (hialin), méretük 8,2 x 1,5 µm nagyságúak, hengeresek, jellemzően kétsejtűek, de gyakran egysejtűek, illetve, lehetnek háromsejtűek is, sokszor rövid láncokba rendeződve állnak (Braun, 1998).

Tünetek

Hasonlóan, mint a *Cercospora beticola*, ez a kórokozó is a cukorrépa (és takarmányrépa) idősebb leveleit fertőzi, számára optimális, jellemzően magas relatív páratartalom mellett és viszonylag alacsony hőmérsékleten (17-20 °C). A sűrű növényállomány és a relatív kénhiány általában növeli a fertőzés intenzitását és kártételét. A leveleken a foltok tejeskávé-barnák, nagyobbak (4-7 mm átmérőjük) és

szögletesebbek, mint amiket a *Cercospora* okoz. A léziók esetenként szegélyezettek, melynek színe sötétbarna vagy vörösbarna, máskor szegély nélküliek, közepük a gombák sporulációja után ezüstszürkéből fehérré változik (Harveson *et al.*, 2009).

Gazdasági jelentőség

A cukorrépa ramuláriás levélfoltosságának önmagában nincs gazdasági jelentősége, és általában nem indokolt az ellene való védekezés (Thach *et al.*, 2013).

Védekezés

Eddig a *Ramularia beticola* nem mutatta a strobilurin- vagy a triazol-típusú fungicidekkel szembeni rezisztencia kialakulásának jeleit, de továbbra is fontos a fungicidek hatékony alkalmazása a monitorozási programok követésével és az ajánlott küszöbértékek betartásával (FRAC, 2020) (Thach *et al.*, 2013).

A RÉPA FÓMÁS LEVÉLFOLTOSSÁGA ÉS GYÖKÉRFEKÉLYE

Kórokozó

Ivaros alakja a *Pleospora bjoerlingii*, a Pleosporaceae családba, Pleosporales rendbe tartozó aszkospóras gomba. Ősszel vagy télen fejlődik a léziók felszíne alatt, elsődlegesen a maghozó növények szárán. Fekete, csésze alakú pszeudotéciumokat képez (mérete 230-360 x 160-205 μm), melyek az áttelelő növények magszárának külső szövetébe ágyazódnak. A pszeudotéciumban találhatóak az aszkuszok (20-30 x 100-130 μm), melyek mindegyikében 8 halvány, sárgászöld, vízszintes és függőleges válaszfalakkal tagolt (muriform), 10-13 x 20-30 μm méretű aszkospóra van (Bugbee, 1979).

Ivartalan alakja a *Phoma betae*, egy konídiumos (piknídiumos) gomba, mely a leggyakrabban fordul elő a természetben. Kitaró képletet, piknídiumot fejleszt, mely éretten fekete színű, gömbölyű, 95-275 μm átmérőjű, a gazdanövény szövetébe ágyazott. A piknídiumban helyezkednek el a konídiumok, melyek átetszőek (hialin), elliptikusak, egysejtűek és 1,6-4,9 x 3,8-9,3 μm méretűek (Bugbee, 1979).

A kórokozó képes fertőzni a cukorrépat, a takarmányrépat, valamint a fehér libatopot (*Chenopodium album*) és a zabot is (Bugbee-Soine, 1974).

Tünetek

Hűvös, csapadékos időjárási körülmények között a gomba képes fertőzni a növényeket közvetlenül csírázaskor, de általában a szikleveles növényeket támadja. Ez a hipokotil (gyökérnyaktól szikleveléig) barnulását vagy elfeketedését („feketelábúság”), és a növény késleltetett növekedését eredményezi (Leach, 1986). Némelyik növényke elpusztul, de sok túléli, és eltérő mértékben regenerálódik. Gyakran a feketelábúságból felépült növények koronaszövetében sekélyen elhalt, sötétbarna rothadás alakul ki (Schneider-Whitney, 1986). Ezeknél a gyökereknél súlyos betakarítás utáni, tárolás során jelentkező rothadás alakulhat ki (Edson, 1915).

Az ipari cukorrépa leveleit és a maghozó répa magszárát is fertőzheti. A magszáron, megnyúlt, szürkés központú léziók keletkeznek, melyekben a gomba fekete piknídiumai vannak beágyazódva (Mukhopadhyay, 1987). A leveleken a tünetek, egyedi, világosbarna, 1-2 cm átmérőjű, kerek vagy ovális léziók formájában jelentkeznek. A léziókon belül, koncentrikusan barna gyűrűben, a perem széléhez közel elhelyezkedve találhatóak a fekete, gömb alakú piknídiumok (Pool-McKay, 1915).

Gazdasági jelentőség

Napjainkban, a gyökérfekély formájában jelentkező kártétel miatt, a répaterület 5–10%-án minden évben meg kell ismételni a vetést. Ez jelentős többletköltséggel jár, és a késői vetések következtében a termés 25–40%-kal kevesebb. Általános kártétele 10–30%-os állományritkulás. A feketelábúságból „kigyógyult” répák hajszálgökerein a kórokozók tovább élősködnek, ennek következtében a növény gyökernövekedése lelassul, és a répák fejlődése vontatottá válik, tömegük alig éri el az 50–200 g-ot. Ezeket a répaszedőgépek elszórják, és ipari szempontból értéktelenné válnak. További veszteséget jelent, hogy a kiritkulások és az egyenlőtlen növényállomány következtében 20–30% életerős répa túlfejlődik, tömege meghaladja az 1kg-ot, ezáltal cukortartalma romlik. Mivel ezek kiemelkednek a talajból, a fejezőgépek félbevágják őket. Egyenlőtlen répaállományokban a szedési veszteség 25–40% is lehet. A tárolási prizmákban – a mélyen fejelt répák fokozott légzése következtében – sok cukor lebomlik, és gyorsan bekövetkezik a rothadás (Fischl et al, 1995).

Védekezés

Megelőző jellegű védekezésként egészséges vetőmag termesztése, valamint a vetőmag 1–2 éves tárolása (2 év elteltével jelentősen csökkent a *P. betae* csíráképessége), a mag koptatása, gombaölő szeres csávázása (Maude et al., 1969; Byford, 1978).

Legalább négyéves vetésforgó betartása mellett, ajánlott a *Chenopodium album* elleni célzott gyomszabályozás (Bugbee-Soine, 1974).

A RÉPA ALTERNÁRIÁS LEVÉLFOLTOSSÁGA

Kórokozó

Az *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. (syn. *Aalternaria tenuis* Nees) egy, a Pleosporaceae családba, Pleosporales rendbe, Ascomycota törzsbe tartozó konídiumos gomba (Guarro et al., 1999; IndexFungorum, 2020, Mycobank, 2020). Konídiumai murifomak, 9-42 x 6-16 µm nagyságúak, hosszú láncokban fűződnek le, sonka vagy tojás alakúak, sötét színűek, csúcsukon lehetnek csőrök vagy a nélküliek egyaránt (Kovács-Fischl, 2014).

Tünetek

A leveleken megjelenő léziók lehetnek kör alakúak vagy szabálytalanok, sötétbarnák vagy feketék, gyakran zónákba rendeződtek és 2-10 mm átmérőjűek. A vírusos sárgulást okozó Beet Western Yellows Virus (BWYV) fertőzését gyakran kíséri másodlagosan, ezáltal felülfertőzve a vírusfertőzött-növényt (Russell, 1960).

Védekezés

Általában nincs szükség védekezésre ellene. Azonban, magasabb cukorhozamot lehet elérni gombaölő szeres permetezéssel vírusfertőzött növényeken, amelyeket szintén *Alternaria spp.* fertőzött meg (Fischl et al, 1995).

RÉPAROZSDA

Kórokozó

Az *Uromyces betae* (Pers.) Tal. et Kickx a bazídiumos gombák, Heterobasidiomycetes alosztályába és az Uredinales rendjébe tartozó, autoecikus fejlődésmenetű (= teljes fejlődésmenete a cukorrépához kötött) rozsdagombafaj. Uredospórái aransárga vagy vörösesbarna színűek, lapított kör vagy tojás alakúak, 26-33 x 19-23 µm méretűek. Az uredospórák az epidermisz alól kitörő pusztulában jönnek létre (*Walker, 1952*).

Teleutospórái egysejtűek, tojás alakúak, simák, sötét-aranybarna színűek, vastag falúak, rövid nyelűek, 26-30 x 18-22 µm méretűek, és csúcsuk áttetsző (hialin) papillával fedett. A teleutospórák teleutopusztulákban jönnek létre (*Punithalingam, 1968*).

Tünetek

A réparozsda tünetei, a kör alakú, 1-2 mm átmérőjű pusztulák, melyek véletlenszerűen vagy gyakran sárga, klorotikus folttal körülvett, körbe rendeződött csoportokban jelentkezhetnek a leveleken (azok színén, fonákján) és a magszáron egyaránt (*Hull, 1960*).

Gazdasági jelentőség

A betegség kórokozója Magyarországon nem jelentős. Jellemzően inkább a maghozó répákat fertőzi (*Fischl et al., 1995*). Európában inkább az északabbra fekvő cukorrépa-termesztő területeken, mint például Franciaország és Németország északi részén, Dániában, Oroszországban tud jelentős károkat okozni (*Koike et al., 2006*).

Védekezés

Agrotechnikai védekezésként, a vetésváltás betartása (4 év), a káros szomszédság elkerülése, illetve a növényi maradványok mély aláforgatása lehetséges. Ahol szükséges, ott kémiai úton megoldható a védekezés a különböző engedélyezett triazolok, strobilurinok, morfolinok csoportjába tartozó gombaölő szerekkel (*Potyondi et al., 2005*).

**MOST SIGNIFICANT PATHOGENS OF SUGAR BEET (*BETA VULGARIS* L.)
AND POSSIBILITIES OF CONTROL AGAINST THEM – A REVIEW**

ÁKOS FERENC BIRÓ – GÁBOR KUKORELLI – ZOLTÁN MOLNÁR

Department of Plant Sciences, Faculty of Agricultural and Food Sciences, Széchenyi
István University, Mosonmagyaróvár

SUMMARY

Growing sugar beet is a very expensive and risky, but also very profitable business compared to other field crops grown in Hungary.

In terms of plant protection, the success of sugar beet cultivation, in addition to insect and weed control, is significantly influenced by the solution of special pathological problems. The dominant pathogens present in sugar beet growing regions of the world, among other things, cause a variety of viral and fungal diseases that cause more significant, albeit often varying degrees of severe economic damage. Knowledge of pathological course and symptoms of these diseases, their occurrence in specific production areas, their frequency, and the possible existence of an optimal environment for the pathogen leading to a possible epidemic are all essential for effective control against them.

Keywords: sugar beet, pathogens of sugar beet, review

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 számú „Innovatív tudományos műhelyek a hazai agrár felsőoktatásban” című projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

Asher, M.J.C. (1987): Rhizomania in England. British Sugar Beet.Review.55(4).4-7. p.

- Braun, U. (1998)*: A monograph of Cercospora, Ramularia and allied genera (phytopathogenic hyphomycetes): Vol. 2. IHW-Verlag, Eching, Munich. 136. p.
- Bugbee, W. M., Soine, O. C. (1974)*: Survival of Phoma betae in soil. *Phytopathology*. 64. 1258-1260. p.
- Bugbee, W.M.(1979)*: Pleospora bjoerlingii in the USA. *Phytopathology*. 69. 277-278. p.
- Burtch, L. M., Fischer, B. B., Hills, F. J. (1983)*: Evaluation of three systemic fungicides for control of powdery mildew. *Journal of the American Society of Sugar Beet Technologists*. 22. 182-193. p.
- Byford, W. J. (1967a)*: Host specialization of Peronospora farinosa on Beta, Spinacia and Chenopodium. *Transactions of the British Mycological Society*. 50. 603-607. p.
- Byford, W. J. (1967b)*: The effect of some cultivation factors on the incidence of downy mildew in sugar-beet root crops. *Plant Pathology*. 16. 160-161. p.
- Byford, W. J. (1978)*: Factors influencing the prevalence of Pleospora bjoerlingii on sugar-beet seed. *Annals of Applied Biology*. 89. 15-19. p.
- Byford, W. J. (1981)*: Downy mildews of beet and spinach. In: Spencer, D. M. (ed.) (1963): *The Downy Mildews*. Academic Press. London. 531-543. p.
- Canova, A. (1967)*: 'Rizomania', a complex disease of sugar beet root in Italy. *Proceedings of the Second International Symposium on Sugar Beet Protection, Novi Sad*. 381-382. p.
- Cooper, J. I., Asher, M. J. C. (eds) (1988)*: *Viruses with Fungal Vectors. Developments in Applied Biology 2*. Association of Applied Biologists. Wellesbourne. 355. p.
- Drandarevski, C. A. (1969)*: Untersuchungen über den echten Rübenmehltau Erysiphe betae (Vanha) Weltzien. II: Morphologie und Taxonomie des Pilzes. *Phytopathologische Zeitschrift*. 65. 54-68. p.
- Duffus, J. E. (1960)*: Radish yellows, a disease of radish, sugar beet, and other crops. *Phytopathology*. 50. 389-394. p.
- Duffus, J. E. (1963)*: Incidence of beet virus diseases in relation to overwintering beet fields. *Plant Disease Reporter*. 47. 428-431. p.
- Duffus, J. E. (1964)*: Beet yellow stunt virus. *Phytopathology*. 54. 1432. p.
- Duffus, J. E., Russell, G. E. (1970)*: Serological and host range evidence for the occurrence of beet western yellows virus in Europe. *Phytopathology*. 60. 1199-1202. p.
- Edson, H. A. (1915)*: Seedling disease of sugarbeet seedlings and their relation to root-rot and crown-rot. *Journal of Agricultural Research*. 4. 135-168. p.

- Esau, K. (1960):* The development of inclusions in sugar beets infected with the beet-yellows virus. *Virology*. 11. 317-328. p.
- Feyaerts, H., Coosemans, J. (1989):* *Heterodera schachtii* as a possible vector of rhizomania (beet necrotic yellow vein virus). *Meded. Landbouwwetensch.Rijksuniv, Gent*. 54:1133-1139.p.
- Fischl, G., Horváth, J., Kadlicskó S., Kiss, E., Pintér, Cs., Biró, K. (1995):* A szántóföldi növények betegségei. Cukorrépa. Mezőgazda Kiadó. 147-166. p.
- FRAC (2020):* www.FRAC.info
- Frate, C. A., Leach, L. D., Hills, F. J. (1979):* Comparison of fungicide application methods for systemic control of sugar beet powdery mildew. *Phytopathology*. 69. 1190-1194. p.
- Guarro, J. W., Gené, J., Stchigel, A. M. (1999):* Developments in Fungal Taxonomy. *Clinical Microbiology Reviews*, 12. 454-500. p.
- Harveson R.M., Hanson L.E., Hein G.L. (2009):* Compendium of beet diseases and pests., APS Press. Second Edition. 10.p.
- Hawksworth, D.L., Sutton, B.C., Ainsworth, C. C. (1983):* Ainsworth and Bisby's Dictionary of the Fungi. 7th ed.Commonwealth Mycological Institute.Kew. Surrey. UK. 445. p.
- Hawksworth, D.L., Kirk, P. M., Sutton, B.C., Pegler, D. N. (1995):* Ainsworth and Bisby's Dictionary of the Fungi. 8th ed. CAB International. Wellingford. Oxon. UK. 296. p.
- Heijbroek, W. (1988):* The effect of virus yellows on yield and processing quality. In *Virus Yellows Monograph*, International Institute for Sugar Beet Research. Brussels. 27-35. p.
- Heijbroek, W. (1989):* The development of rhizomania in two areas of the Netherlands and its effect on sugar-beet growth and quality. *Netherlands Journal of Plant Pathology*. 95. 27-35. p.
- Hills, F. J., Hall, D. H., Kontaxis, D. G. (1975):* Effect of powdery mildew on sugarbeet production. *Plant Disease Reporter*. 59. 513-515. p.
- Horváth, J. (1994a):* Beet necrotic yellow vein Furovirus 1. New hosts. *Acta Phytopath. et Entomol*. 29: 109-118. p.
- Horváth, J. (1994b):* Beet necrotic yellow vein Furovirus 2. New resistant Beta sources. *Acta Phytopathology et Entomology* 29. 119-127. p.

- Hull, (1960):* Sugar Beet Diseases. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food Bulletin no. 142. Her Majesty's Stationary Office. London. 55. p.
- Index Fungorum (2020):* *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl., Beih. bot. Zbl., Abt. 2 29: 434 (1912). <http://www.indexfungorum.org/names/NamesRecord.asp?RecordID=119834>
- Johansson, E. (1985):* Rizomania in sugar beet – a threat to beet growing that can be overcome by plant breeding. Sveriges Utsadesförenings Tidskrift. 95. 115-121. p.
- Kimmel, J. (1997):* A cukorrépa lombvédelméről. Agrofórum. 8. 9. 9-12. p.
- Kiss, E., Hetzer, T.-né, Poós, K.-né, Pchima, A. F. (1984):* A levélváltás hatása a cukorrépa termésére és cukortartalmára. Cukoripar. 37. 2. 41-44. p.
- Klinkowski, M. (1958):* Pflanzliche Virologie. Bd. 1-2. Berlin. Akademia Verlag. 393. p.
- Koike, S. T., Gladders, P., Paulus A. (2006):* Vegetable Diseases: A Colour Handbook. 147. p.
- Kovács, J., Fischl, G. (2014):* A paradicsom és a paprika alternáriás betegségei (*Alternaria* spp.). In: Veszélyes növénybetegségek. II./8. Agrofórum. 2014. (5) 45. p.
- Leach, L. D. (1931):* Downy mildew of the beet, caused by *Peronospora schachtii* Fuckel. Hilgardia. 6. 203-251. p.
- Leach, L. D. (1986):* Seedling diseases. In: Whitney, E. D., Duffus, J. E. (eds) (1986): Compendium of Beet Diseases and Insects. APS Press. St. Paul, Minnesota. 4-8. p.
- Maude, R. B., Vitor, A. S., Shuring, C. G. (1969):* The control of fungal seed-borne diseases by means of a thiram seed soak. Annals of Applied Biology. 64. 245-257. p.
- Milinkó, I. (1967):* Cukor- és takarmányrépa. In: Szepessy, I. (Szerk.) (1967): Mezőgazdasági növénykórtan. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 215-228. p.
- Mukhopadhyay, A. N. (1987):* Handbook on Diseases of Sugar Beet. Vol. I. CRC Press. Boca Raton. Florida. 196. p.
- Mycobank (2020):* Taxonomy classification of *Cercospora beticola* Sacc.; *Ramularia beticola*; *Erysiphe betae*. <https://www.mycobank.org>
- NÉBiH (2020):* Nemzeti fajtajegyzék. Szántóföldi növények. Cukorrépa. 10. p.
- Pecze, R. (1998):* A cukorteremés védelmében. Agrofórum. 9. 8. 49. p.
- Pocsai, E. (2020):* A cukorrépa veszélyes és karantén vírusbetegségei. Mezőhír. <https://mezohir.hu/2020/07/28/a-cukorrepa-veszelyes-es-karanten-virusbetegsegei/>
- Pool, V. W., McKay, M. B. (1915):* Phoma betae on the leaves of sugar beet. Journal of Agricultural Research. 4. 169-177. p.

- Potyondi, L., Kimmel, J., Borod, J., Szilágyi-né Kovács, E. (2005):* A cukorrépa védelme. *Növényvédelem* 42 (9). 413-439. p.
- Punithalingam, E. (1968):* Descriptions of Pathogenic Fungi. *Uromyces betae*. 147. p.
- Putz, C., Merdinoglu, D., Lemaire, O., Stocky, G., Valentin, P., Wiedemann, S. (1990):* Beet necrotic yellow vein virus, causal agent of sugar beet rhizomania. *Review of Plant Pathology*. 69. 247-254. p.
- Quanjer, H. M. (1934):* Enkele kenmerken der ‘vergelingsziekte’ van suiker- en voederbieten ter onderscheiding van de ‘zwarte houtvatenziekte’. *Tijdschrift over Plantenziekten*. 40.1-14. p.
- Ruppel, E. G., Hills, F. J., Mumford, D. L. (1975):* Epidemiological observations ont he sugarbeet powdery mildew epiphytotic in western USA in 1974. *Plant Disease Reporter*. 59. 283-286. p.
- Russell, G. E. (1960):* Sugar-beet yellows: further studies on viruses and virus strains and their distribution in East Anglia.1958-59.*Annals of Applied Biology*. 8. 721-728. p.
- Russell, G. E. (1969):* Resistance of fungal diseases of sugar beet leaves. *British Sugar beet Review*. 38. (1). 27-35. p.
- Russell, G. E. (1971):* Beet mosaic virus. *Descriptions of Plant Viruses*. 53.
- Schneider, C. L., Whitney, E. D. (1986):* Root diseases caused by fungi. In: Whitney, E. D., *Duffus, J. E. (eds) (1986):* Compendium of Beet Diseases and Insects. APS Press. St. Paul, Minnesota. 17-23. p.
- Schweigert, A.-né (1997):* A cukorrépa nyári lombvédelme. *Agrofórum*. 8. 7. 10-12. p.
- Smith, H. G., Hallsworth, P. B. (1990):* The effects of yellowing viruses on yield of sugarbeet in field trials, 1985 and 1987. *Annals of Applied Biology*. 116. 503-511. p.
- Szentey, L. (2014):* A cukorrépa kórokozói és kártevői elleni védekezés. *Agrarium7*. <https://agrarium7.hu/cikkek/16-a-cukorrepa-korokozoi-es-kartevoi-elleni-vedekezes>
- Tamada, T., Baba, T. (1973):* Beet necrotic yellow vein virus from rhizomania-affected sugar beet in Japan. *Annals of the Phytopathological Society of Japan*. 39. 325-332. p.
- Thach, T., Munkb L., Hansenc A.L. (2013):* Disease variation and chemical control of *Ramularia* leaf spot in sugar beet. *Crop Protection*.51. 68-76. p.
- Virág, J. (1982):* Új betegség (rizománia) fenyegeti a cukorrépát. *Magyar Mezőgazdaság* 44. 9.
- Walker, (1952):* Disease of Vegetable Crops. McGraw-Hill Book Co. New York Toronto London. 529. p.

Watson, M. A. (1940): Studies on the transmission of sugar beet yellows virus by the aphid. *Mysus persicae* (Sulz.) Proceedings of the Royal Society. London. Ser. B. 128.535-552. p.

Weltzien, H. C. (1963): Erysiphe betae (Vanha) comb. nov., the powdery mildew of beets. *Phytopathologische Zeitschrift*. 47. 123-128. p.

Whitney, E. D. (1989): Identification, distribution, and testing for resistance to rhizomania. *Plant Diseases*. 73: 287-290. p.

Whitney, E. D., Lewellen, R. T., Skoyen, I. O. (1983): Reactions of sugar beet to powdery mildew: genetic variation, association among testing procedures, and resistance breeding. *Phytopathology*. 73. 182-185. p.

A szerzők levélcíme – Address of the authors:

Biró Ákos Ferenc

Széchenyi István Egyetem,

Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar,

Növénytudományi Tanszék,

9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

Kukorelli Gábor

Széchenyi István Egyetem,

Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar,

Növénytudományi Tanszék,

9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

Molnár Zoltán

Széchenyi István Egyetem,

Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar,

Növénytudományi Tanszék,

9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.



**A CUKORRÉPA (*BETA VULGARIS* L.) CERKOSPÓRÁS LEVÉLRAGYÁJA
(*CERCOSPORA BETICOLA* SACC.), AZ ELLENE VALÓ VÉDEKEZÉS
LEHETŐSÉGEI ÉS A FUNGICIDEKKEL SZEMBENI REZISZTENCIÁJA**

BIRÓ ÁKOS FERENC – KUKORELLI GÁBOR – MOLNÁR ZOLTÁN

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar,
Növénytudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

ÖSSZEFOGLALÓ

Magyarországon, de Európa és a világ szinte összes cukorrépa-termesztő területein jelenlevő domináns kórokozó a cukorrépa levélragyáját okozó *Cercospora beticola* Sacc. Ennek az egy kórokozónak az epidemikus felszaporodása akár 50%-os termésvesztéséget is okozhat.

A *Cercospora beticolának* különböző hatóanyagcsoportokba sorolt fungicidekkel szembeni rezisztenciáját a Világ számos országában, így Magyarországon is leírták már. Napjainkban is folynak a fungicidrezisztenciával kapcsolatos rendszeres monitorvizsgálatok a világban.

Kulcsszavak: cukorrépa, cercospóra, *Cercospora beticola*, cercospóra-rezisztencia

BEVEZETÉS

A cukorrépa cercospórási levélragyájának kórokozója, a *Cercospora beticola* Sacc., növényvédelmi vonatkozásban a legkiemelkedőbb szerepet játssza korunk cukorrépa-termesztésének alakulásában. A cukorrépa termesztésének sikeressége nagymértékben függ a cercospórási levélragya elleni védekezés hatékonyságától, az újabb fungicid-hatóanyagok kifejlesztésének gyorsaságától, mivel a rezisztenciaviszonyok is gyorsan változnak.

A RÉPA CERKOSPÓRÁS LEVÉLRAGYÁJA

JELENTŐSÉGE

A betegséget először Saccardo 1876-ban Olaszországban írta le mángoldon (*Beta vulgaris subsp. cicla*), de mára világszerte mindenhol azonosították, ahol cukorrépat termesztnek (Ruppel, 1986).

A cukorrépa cercospórási levélragyája leginkább a meleg, párás termőhelyeken okoz súlyos károkat (Lartey et al., 2010). Fő kártétele, a cukorrépa lombvesztésén és ezáltal előidézett levélváltásán keresztül, az igen jelentős cukorkihozatali veszteség, amely közepes vagy nagy fertőzési nyomás esetén a 40-50% -ot is megközelítheti (Shane-Teng, 1992; Holtschulte, 2000).

A szennyezőanyagok arányának megnövelésével, a cukorkinyerés folyamatait is megnehezíti, ezáltal magasabb feldolgozási költségeket és kevesebb kivonható cukormennyiséget okozva (Shane-Teng, 1992). Továbbá a fertőzött növények gyökértermése is hajlamosabb a prizmákban a rothadásra a téli tárolás során (Smith-Ruppel, 1973). Például az 1980-as évek végén és az 1990-es évek elején a súlyos cercospórási levélragyajárványok okoztak jelentős gazdasági károkat a dél-németországi cukorrépa-termesztő gazdáknak (Wolf-Verreet, 2005).

Magyarországon leggyakrabban ez a gombás betegség okozza cukorrépa-állományokban a legsúlyosabb termésveszteségeket termesztési körzettől függetlenül (Kimmel, 1999).

Hazánkban a cukor- és takarmányrépán a nyár derekán, június-július hónapokban várható a megjelenése évről évre. Korai fertőzése esetén 2–3-szori levélváltást is előidézhet, ilyenkor 15–25%-os termés-, 0,5–1,5%-os cukortartalom-, illetve 25–35%-os cukorvesztést okozhat. Magtermesztésnél 10–20%-os termésvesztés és 5–10%-os csíráképesség-romlás következhet be. A különböző rasszok okozta kártétel – azok fertőzőképességétől és a különböző cukorrépa-fajták fogékonyságától függően – 2–40% közötti cukortartalom-vesztés is lehet. Európa északi országaiban kártétele nem jelentős (Fischl, 1992).

KÓROKOZÓ

Taxonómia

A cercosporoid gombák fogalmát sokszor megváltoztatták. Az első faj leírása óta, a *Cercospora* nemzetségbe sorolt fajok száma folyamatosan bővült (Pollack, 1987). Későbbi szerzők kisebb rendszertani egységekre osztották az addig a *Cercospora* nemzetségbe sorolt legtöbb cercosporoid gomafajt (Chupp, 1954). A legutóbbi felülvizsgálatot követően az ide sorolt fajok számát drasztikusan, több mint 3000 fajról 659-re, majd további 281 fajjal csökkentették, melyeket morfológiailag nem különböztethetünk meg a *Cercospora apii sensu lato*-tól. A *Cercospora beticola* a *Cercospora apii*-komplexhez tartozik és a fő kórokozója a cukorrépa cercospórásvetési betegségnek (Groenwald 2005, 2006, 2008). A legtöbb *Cercospora*-fajnak, így beleértve a *Cercospora beticolát* is, ivaros alakja jelenleg nem ismert. A *Cercospora* nemzetség a *Mycosphaerella* ivaros gombák már bizonyított ivartalan alakja (Crous-Braun, 2003), továbbá a *Cercospora*-fajok poligenetikai vizsgálatainak elemzése alapján jól meghatározott kládként a *Mycosphaerellaceae* családon belül helyezik el őket (Crous et al., 2001, 2006a, 2006b; Goodwin et al., 2001). Ezért a taxonómusok úgy veszik, hogy ha van ivaros alakja a *Cercospora beticolának*, az csakis egy *Mycosphaerella*-gomba lehet. Ezért az alább megjelölt rendszertani beorolás a jelenleg hatályos, hivatalos a *Cercospora beticola* esetében.

A *Cercospora beticola* Sacc. (Saccardo, 1876) a gombák (Fungi) Ascomycota törzsébe, a Dothideomycetes osztályába, a Capnodiales rendjébe, és azon belül a Mycosphaerellaceae családjába tartozó konídiumtartós, nekrotrof, növényi kórokozó gomba (*Index Fungorum*, 2020; *Mycobank*, 2020).

Morfológiai bélyegek

A *Cercospora beticola* gombának csak az anamorfa (ivartalan) alakja ismert (Crous et al., 2001; Groenewald et al., 2013).

A hifák áttetszőek (hialin) vagy halvány olajbarnák, sejtközöttiek, harántfallal tagoltak, 2-4 µm átmérőjűek, pszeudostromatákat képeznek a gazdanövény légzőnyílás alatti üregeiben, amelyekből konídiumtartó kötegek nőnek ki. A légzőnyílásokon át törnek elő a konídiumtartók, 10-100 (legtöbb 46-60) x 3-3,5 µm nagyságúak, elágazás nélküliek, egyenesek vagy hajlékonyak, enyhén térszerűen hajlítottak, alig harántoltak, alapjukhoz közel halványbarna színűek, míg a csúcsuk közelében majdnem áttetszőek (hialin), kis feltűnő konidiális hegekkel a térdhajlatoknál és a csúcsnál (Pool-McKay, 1916).

A transzmissziós elektronmikroszkópos vizsgálatok azt mutatták, hogy 10–20 konidiumtartó nyaláb (18–25 µm átmérőjű) gyakran képződik mind a levél színén, mind a fonákján, és szubepidermális vagy szubszomatális pszeudosztrómákból származnak (Pons *et al.*, 1985). A pszeudosztrómák három-hat sejt mélységűek és legfeljebb 8-10 sejt szélesek. A konidiumtartók egy vagy két sejtből állnak, és 10–25 µm hosszúak, az alapon 3-5 µm szélesek. A konídiumok tú alakúak (2–3 × 36–107 µm), színtelenek (hialin), több keresztfallal (Weiland-Koch, 2004).

Több kutató is beszámolt a *Cercospora beticola* fiziológiailag megkülönböztetett rasszairól, elsősorban az *in vitro* kultúrákra és élettani különbségekre alapozva (Schlösser-Koch, 1957; Noll, 1960; Hetzer-Kiss, 1964; Solet-Wahl, 1971; Whitney-Lewellen, 1976; Mukhopadhyay-Pal, 1981). A rasszok fontossága megkérdőjelezhető, mivel nem mutattak ki izolátum-fajta kölcsönhatást (Ruppel, 1972). Emellett a különböző fajták, a kórokozóval szembeni eltérő ellenálló képességük ellenére, hasonlóan reagáltak a különféle biotípusok izolátumaira, amikor Görögországban, Olaszországban, Spanyolországban és az Egyesült Államokban értékelték őket (Smith, 1985).

Elterjedés

A cercospórák levélrága az egyik legelterjedtebb és legsúlyosabb károkat okozó levélbetegsége a cukorrépanak. Az ellene való védekezés a növény védelmének gerincét alkotja a világ legtöbb cukorrépa-termesztő országában, mind Európa, mind az Egyesült Államok, Japán és Oroszország nagy részén (Holtshulte, 2000).

Jellemzően mediterrán betegség, de minden répatermő területen megjelenik, majd felszaporodik, ahol a nyári csapadék 200 mm körül van, és az átlaghőmérséklet meghaladja a 19–20°C-ot. A különböző földrajzi zónákban számos rassza alakult ki, amelyek a vetőmaggal gyorsan átkerültek egyik földrésről a másikra (Fischl, 1992).

Gazdanövény

Ezen kórokozó tápnövényei a cukorrépa (*Beta vulgaris* subsp. *Vulgaris*) mellett a *Beta* nemzetség legtöbb faja. Ezekon kívül is széles gazdanövénykörrel rendelkezik, melyeken patogénnek számít. Ezek az Amaranthaceae (pl. spenót), a Chenopodiaceae (pl. fehér libatop), az Apiaceae (pl. zeller), az Asteraceae (pl. krizantém, saláta, sáfrány) és a Brassicaceae (pl. vad mustár) családba tartoznak. Továbbá több más, mint a Malvaceae (pl. selyemmályva), a Plumbaginaceae (pl. egynyári sóvirág) és a Polygonaceae (pl.

kesperűfüvek, pohánka) növénycsaládba tartozó növényeken írták már le mint jelenlevő kórokozót (*Fransden*, 1955).

Járványtan és tünetek

A cercospórák levélagya kórokozója, a *Cercospora beticola* Sacc., számára kedvező körülmények között képes arra, hogy több ivartalan fejlődési ciklusa végbemenjen egyetlen szezon alatt (*McKay-Pool*, 1918; *Nagel*, 1945; *Vereijssen et al.*, 2007). A vegetációs időszakokon kívül, illetve azok között, a gomba elsősorban micélium formájában marad fenn a fertőzött növénymaradványokon a levél szubtomatális üregében. Ezeket a speciális áttelelésképleteket pseudosztrómának, vagy álsztrómának (konídiumtermelő hifák, micélium) nevezzük, mivel ezek mind gombaszövetekből, mind pedig a gazdanövény szövetmaradványaiból állnak (*Eriksson*, 1981). A pszeudosztróma 2 évig maradhat fent a növényi törmeléken, és ez jelenti a legfontosabb elsődleges (primer) fertőzési forrást (*Pool-McKay*, 1916; *Canova*, 1959; *Khan et al.*, 2008). A további lehetséges primer fertőzési források közé tartozik még a kórokozóval fertőzött növényi maradványok szétszórása munkagépek segítségével (*Knight et al.*, 2018, 2019), a fertőzött vetőmag, a szél által szállított konídiumok vagy más gazdanövényekből származó sztrómák (*Khan et al.*, 2008; *Franc*, 2010; *Skaracis et al.*, 2010; *Tedford et al.*, 2018; *Knight et al.*, 2020).

A konídiumok fejlődéséhez szükséges minimális környezeti feltétel a legalább 15 °C-os hőmérséklet és 60%-os vagy magasabb relatív páratartalom (*Pool-McKay*, 1916; *Solel-Minz*, 1971). A szél, eső, öntözés, vízfelverődés vagy rovarok által a spórák továbbterjednek, rákerülnek a cukorrépa levelek fonákjára vagy a levélgyekek lefelé néző felületére, ezáltal megindítva a további fertőzést (*Lawrence-Meredith*, 1970; *Khan et al.*, 2007). Bár egyes tanulmányok szerint a gyökerek elsődleges fertőzési forrásként is szolgálhatnak (*Vereijssen et al.*, 2005), a gyökérfertőzés specifikus feltételei továbbra is tisztázatlanok (*Khan et al.*, 2008). A konídiumok csírázásához szükséges optimális körülmények a magas relatív páratartalom mellett (közel 100%) a körülbelül 25 °C-os hőmérséklet (*Ruppel*, 1986; *Khan et al.*, 2009). Csírázás után a konídium appresszóriumot fejleszt, lehetővé téve a hifák számára, hogy a sztrómákon keresztül behatoljanak a levélszövetbe, és a sejtek között terjedjenek, látható levéltünetek nélkül (*Rathai*, 1977; *Steinkamp et al.*, 1979). Ahogy a gomba nekrotróf stádiumba vált át, a fitotoxinok

termelése és a lebomlóenzim-aktivitás a fertőzött sejtek nekrotizálásához vezet (Steinkamp *et al.*, 1979).

A tünetek 3–5 mm nagyságú, szürkésbarna színű, kör alakú foltokként jelennek meg, amelyeket sötétbarna vagy vöröseslilás szegély vesz körül (Windels *et al.*, 1998). A tünetek az idősebb leveleken akár 5 nappal a fertőzés után már kialakulhatnak, kedvező környezeti feltételek mellett, mint a magas páratartalom (> 90%) és a meleg (nappal 27–32 °C, éjszaka 16 °C fölött) legalább 15-18 órán keresztül naponta (Pool-McKay, 1916; Solel-Minz, 1971). Szabadföldön ezeket a jellegzetes tüneteket jellemzően a lombzáródás után lehet megfigyelni általában (Khan *et al.*, 2008). Magas relatív páratartalom (98-100%) és 20 °C hőoptimum mellett, a sporuláció végbe tud menni 10-35 °C között (Bleiholder-Weltzien, 1972). Súlyos járványok várhatóak, amikor a hőmérséklet 20 °C, a relatív páratartalom 96% felett marad 10-12 órán keresztül, 3-5 napig (Mischke, 1960).

A léziókban kialakult pszeudosztrómák kedvező körülmények között a fertőzés után már 7 nappal az új konídiumok termelődésének helyeivé válnak (Jacobsen-Franc, 2009). A konídiumokat ismét a szél, vízfelferődés vagy rovarok terjesztik, újabb fertőzési ciklust beindítva ezzel. A korai tanulmányok azt írják, hogy a vízfelferődés (eső- és öntözővíz) a spórák további terjedésének fő tényezője (Carlson, 1967), míg mások szerint a szél a fő terjedési tényezője a *Cercospora beticola* inokulumának, mivel a kitett növényeknél a betegség súlyosabb volt, mint az izolált növényeknél (Khan *et al.*, 2008). Nem számoltak be arról a távolságról, amelyet a konídiumok meg tudnak tenni életképességük megőrzése mellett, de genetikai vizsgálatok bizonyítékot szolgáltatottak arra, hogy a spórák képesek nagyobb távolságon belül is szétszóródni (Groenewald *et al.*, 2008; Vaghefi *et al.*, 2017; Knight *et al.*, 2018).

VÉDEKEZÉS

Általános védekezési gyakorlat és stratégia

A cercospórák levélrageja elleni integrált védekezés magába foglalja a helyes talajművelési gyakorlatot, a cukorrépa mérsékelt rezisztenciáját a kórokozóra és a gombaölő szerek kezeléseket időben történő elvégzését (Ruppel, 1986). A helyes agronómiai gyakorlat (GAP = Good Agricultural Practices) kialakításának célja a kezdeti fertőzőanyag mennyiségének csökkentése a következő szezonban a vetésciklus betartásával, a talajműveléssel (fertőzött növénymaradványok leszántása) és közvetlenül

a korábbi cukorrépa-területek melletti vetés elkerülésével. A 2-3 éves vetésforgó betartása a lehetséges gazdanövények kizárásával, illetve a levágott beteg répafejek eltávolítása a területről csökkenti a fertőzési forrásokat a következő évek cukorrépa-területeinek megvédése érdekében (*Pool-McKay*, 1916; *Pundhir-Mukhopahyay*, 1987). A mélyszántás meggyorsítja a fertőzött fejek lebomlását a talajban, ami a gomba pusztulásához vezet (*Canova*, 1959).

A betegség megjelenésének, majd súlyosságának előrejelzésére és fejlődésének nyomon követésére járványtani modelleket dolgoztak ki a gombaölő szerek kezelésekre megfelelő időzítése érdekében (*Rossi-Battilani*, 1991; *Windels et al.*, 1998; *Pitblado-Nichols*, 2005; *Racca-Jörg*, 2007). Például, a magas relatív páratartalom és a kritikus átlaghőmérsékletű órák számán alapuló előrejelzési modellt sikerrel alkalmazták az Egyesült Államokban a gombaölő szerek permetezési ütemtervének meghatározásához (*Shane-Teng*, 1984).

A gombaölő szerek kezeléseket korán, megelőző jelleggel (preventíven) kell kijuttatni, a primer fertőzéseket célozva, hogy elkerüljük a konidiális populációk kialakulását, amelyek megfertőzhetik az új, védtelen leveleket. A kontakt és szisztemikus gombaölő szerek egymást felváltva vagy tankkeverékekben történő alkalmazása késleltetheti a rezisztens kórokozótörzsek kialakulását (*Ruppel*, 1986; *Kimmel*, 1999).

Bár számos tanulmány foglalkozott a különféle baktériumok és gombák biopeszticidként való cercospórák levélrágja elleni alkalmazhatóságával, beleértve a *Trichoderma* spp. és a *Bacillus subtilis* (*Collins-Jacobsen*, 2003; *Galletti et al.*, 2008) fajokkal végzett vizsgálatok eredményeit is, jelenleg nem tudunk sikeres kutatási eredményekről.

Mindemellett alternatív megoldásként több mikrobiális csoport jelenléte korrelál a cukorrépa-területek betegség-előfordulási gyakoriságával, így ezek a mikrobák biológiai markerként hasznosak lehetnek a betegség kitörésének előrejelzésében (*Kusstatscher et al.*, 2019).

A cercospóra elleni védekezésben használt gombaölő-szer-hatóanyagok

A gombaölő szerek használata a cercospórási levélrágja (*Cercospora beticola*, Sacc.) elleni védekezés szerves részét képezte és képi a mai napig, elsősorban a nemkémiai alternatívák hatékonyságának hiánya miatt. A betegség kezelésében két fő vegyszertípus áll rendelkezésre: széles spektrumú aktivitással rendelkező protektív gombaölő hatóanyagok és szisztémikus gombaölő szerek, amelyek a gombát egy meghatározott helyen célozzák meg. Az előbbieket közül a leggyakrabban alkalmazott az etilén-biszditiokarbamát (EBDC, Fungicide Resistance Action Committee = FRAC Group M03) gombaölő, rézalapú gombaölő (FRAC M01 csoport). A szisztémikus gombaölő-szer-hatóanyagok globálisan alkalmazott három fő csoportja a benzimidazolok (MBC = Methyl Benzimidazole Carbamates; FRAC 1. csoport), a triazolok (DMI = DeMethylation Inhibitors; FRAC 3. csoport) és a strobilurinok (QoIs = Quinone outside Inhibitors; FRAC 11. csoport) (Kimmel, 1999; FRAC, 2020).

Az elmúlt évtizedekben, ezen hatóanyagcsoportok hatékonyságát folyamatosan rontotta a rezisztens törzsek megjelenése a *Cercospora beticola* populációiban. A *Cercospora beticola*-rezisztenciát kimutatták ugyanazon fungicidostályok széles körű és ismételt alkalmazása után (Giannopolitis, 1978; Secor et al., 2010; Rosenzweig et al., 2020). További tényezők a kórokozó „policiklikus jellege”, a magas spóráképzési arány és a nagy területeken alkalmazott, gyakran használt permetezési programok, amelyek még jelentősen hozzájárulnak a gombaölő szerekkel szembeni rezisztencia kialakulásához (Dekker, 1986). Különböző csoportba tartozó hatóanyagok felváltva történő kipermetetését alkalmazzák a rezisztens törzsek szelekciójának elnyomására. További lehetőségként, a szisztémikus gombaölő szereket (például a triazolokat), tankkeverékben szokták alkalmazni kontakt szerrel a magasabb hatékonyság elérése, a költségcsökkentés és a rezisztencia megelőzésének érdekében (Ioannidis, 1994).

Benzimidazol- (MBC) típusú gombaölő szerek (FRAC 1)

A benzimidazol (MBC = Methyl Benzimidazole Carbamates) gombaölő szerek csoportjába tartozó benomil hatóanyagot 1970-ben vezették be (Klittich, 2008). A benzimidazolok gátolják a mikrotubulus összeépülését a mitózis során azáltal, hogy kötődnek a β -tubulin alegységekhez (Davidse, 1986).

Triazol- (DMI) típusú gombaölő szerek (FRAC 3)

A *Cercospora beticola* elleni védekezésre használt gombaölőszer-hatóanyagok másik nagy csoportját alkotják a triazolok (DMI = DeMethylation Inhibitors). A kórokozóval szemben mind védő (protektív), mind gyógyító (kuratív) hatásúak. Emellett biztonságosak a cukorrépa számára, vagyis alacsony a fitotoxicitási szintjük is (*Brown et al.*, 1986; *Dahmen-Staub*, 1992).

Strobilurin- (QoI) típusú gombaölő szerek (FRAC 11)

A strobilurinokat 1996-ban vezették be, elsőként az azoxistrobin hatóanyagot (*Klittich*, 2008). Hatásmódjukat tekintve, a gombák légzését gátolják (QoI = Quinone outside Inhibitors). A strobilurinok úgy hatnak, hogy megkötik a citokróm bc1 komplex kinol oxidációs helyét a mitokondriumokban, ami megzavarja az ATP-termelést (*Wood-Holloman*, 2003; *Fernández Ortuño et al.*, 2008). A membránfehérje citokróm b képezi a komplex magját, és a citokróm b (cytb) gén kódolja.

Széles hatáskörük és egyben alacsony fitotoxicitásuk miatt gyorsan vezető szerepre tettek szert az új gombaölőszer-fejlesztések területén (*Anke*, 1995).

A strobilurin-tartalmú gombaölő szereknek, a betegségek elleni hatékonyságuk mellett, jelentős a zöldítő, vitalizáló, öregedésgátló hatása is (*Habermeyer et al.*, 1998; *Horváth-Prigge*, 1998).

Cukorrépában először 2002-ben alkalmaztak strobilurinokat mint rendkívül hatékony fungicideket a *Cercospora beticola* ellen (azoxistrobin, krezoxim-metil, piraklostrobin, trifloxistrobin) (*Karadimos et al.*, 2005; *Secor et al.*, 2010).

A gombaölőszer-hatóanyagokat összefoglalva az 1. táblázatban mutatjuk be.

1.táblázat: Cukorrépában engedélyezett, *Cercospora beticola* ellen használható gombaölőszerek és hatóanyagok listája Magyarországon – 2021. Forrás: URL1
1. Table 1: List of fungicides and active substances authorised in beet against *Cercospora beticola* in Hungary

SSz:	Hatóanyag neve	Hatóanyag csoport	FRAC besorolás	Készítmény	
				Neve	Engedély érvényessége
1.	ciprokonazol	DMI fungicidok	FRAC 3	Sfera 535 SC*, Trezor 535SC*	2024.05.31
2.	difenokonazol			Spyrale 475 EC*	2023.09.30
3.	propikonazol			Bolt XL	2021.12.31
4.	tetrakonazol			Eminent 125 SL, Emerald, Galileo, Bagani	2024.05.31
5.	azoxistrobin	QoI fungicidok	FRAC 11	Amistar, Conclude, Mirador, Mister, Zaftra	2023.07.31
6.	trifloxistrobin			Sfera 535 SC*, Trezor 535SC*	2024.05.31
7.	fenpropidin	gyűrűs-aminok	FRAC 5	Spyrale 475 EC*	2023.09.30

*= gyári kombináció

A *CERCOSPORA BETICOLA* KÓROKOZÓVAL SZEMBENI REZISZTENCIAHELYZET

A *Cercospora beticola* elleni rezisztencia kialakulása

Benzimidazolok (MBC): Először Görögországban, már 1973-ban, írták le a *Cercospora beticola*- populációkban megfigyelt benzimidazol-rezisztenciát (Georgopoulos- Dovas, 1973), majd világszerte több más termőhelyen, például az Egyesült Államokban (Ruppel-Scott, 1974; Bugbee, 1982), Kínában (Dafang-Shuzhi, 1982) és Indiában (Pal-Mukhopadhyay, 1983). Ezt követően, a rezisztens populációk kezelésére vezették be a DMI-típusú (triazolok) gombaölő szereket. Magyarországon jóval később mutatták ki a benomil hatóanyaggal szemben kialakult, stabil 100%-os rezisztenciát (Kimmel, 2003). Davidson et al. (2006) és Trkulja (2013) leírták, a megcélzott β -tubulin gén szekvenciájának glutaminsav és alanin aminosav változását azonosították a 198 kodonban (E198A néven), amely magas benzimidazol-rezisztenciával társult a *Cercospora beticola* több populációjában is.

Triazolok (DMI): Bár kezdetben úgy gondolták, hogy a triazolok közepes rezisztenciakockázattal rendelkeznek (Brown et al., 1986), a *Cercospora beticola*-

rezisztenciát mára kimutatták Európában (*Karaoglanidis et al.*, 2001a), Marokkóban (*El Housni et al.*, 2018), Kanadában (*Trueman et al.*, 2017) és az Egyesült Államokban (*Secor et al.*, 2010; *Bolton et al.*, 2012a; *Rosenzweig et al.*, 2020). A triazolokkal szembeni rezisztancia közel folytonossággal megfigyelhető, egyaránt a magas és az alacsony EC50-értékek között (*Karaoglanidis-Ioannidis*, 2010). Az 1 ppm-nél magasabb EC50-értékű *Cercospora beticola*-izolátumok jelentősen súlyosabb megbetegedést okoztak a cukorrépában egy triazol-kezelés alkalmazása után, mint azok az izolátumok, amelyek EC50-értéke 1 ppm alatt volt. Ezek alapján az 1 ppm-et feltételezték a DMI-rezisztencia ésszerű küszöbértékeként (*Bolton et al.*, 2012b, 2016). Egy 2017-es felmérésben a tesztelt *Cercospora beticola*- izolátumok 25,9% -a volt rezisztens (EC50 > 1 ppm) a tetrakonazzal szemben, míg ugyanezen izolátumok 47,1% -a volt rezisztens egy másik triazolra, a difenokonazolra, ami arra utal, hogy nincs teljes keresztrezisztencia a triazolokkal szemben (*Secor et al.*, 2017; *Karaoglanidis-Thanasoulouopoulos*, 2003). A triazolokkal szembeni rezisztencia kialakulásának mechanizmusa általában összetettebb, mint a benzimidazolokkal, vagy a strobilurinokkal szemben kialakuló. A triazolok a gombák lanoszterin 14 α -demetiláz CYP51-jét célozzák meg, amely egy citokróm P450 enzim. Ez a gomba ergoszterolbioszintézisének kulcsfontosságú lépését katalizálja. A sejtmembrán szterin-ergoszterol szintézise nélkül a gomba sejteinek növekedése gátolható. Az ellenállás nemcsak a CYP51 célhelyének módosítása, hanem a CYP51 túlzott expressziója, a triazolok megnövekedett aktív kiáramlása és a cél CYP51 gén többszörös másolata révén is kialakulhat (*Leroux et al.*, 2007; *Ziogas-Malandrakis*, 2015). A közelmúltban olyan nem szinonim polimorfizmusokat is felfedeztek a CbCYP51-ben, amelyek a triazol-rezisztenciához kapcsolódnak (*Trkulja et al.*, 2017; *Shrestha et al.*, 2020).

Strobilurinok (QoI): A többi gombához hasonlóan (*Fernández-Ortuño et al.*, 2008), a *Cercospora beticola* eddig kimutatott strobilurin-rezisztens izolátumai a glicint alaninnal helyettesítették a 143-as kodonban (jelölése G143A) (*Birla et al.*, 2012; *Bolton et al.*, 2013; *Trkulja et al.*, 2017; *Piszczek et al.*, 2018). Rezisztancia-monitorozási vizsgálatok Európában (*Birla et al.*, 2012; *Piszczek et al.*, 2018), Marokkóban (*El Housni et al.*, 2018), Japánban (*Kayamori et al.*, 2020), Kanadában (*Trueman et al.*, 2013) és az Egyesült Államokban (*Secor et al.*, 2010; *Kirk et al.*, 2012) jelezték a strobilurinokkal (QoI) szembeni rezisztencia gyors és stabil kialakulását. Az ebbe a csoportba tartozó összes hatóanyag között keresztrezisztencia áll fent (FRAC, 2020). Az Egyesült

Államokban, 2017-es jelentésben kimutatták, hogy a *Cercospora beticola*-izolátumok 89,1%-a rezisztens volt a piraklostrobinnal szemben, ezért használata már nem ajánlott a cercospóras levélrageya elleni védekezésre (Secor et al., 2017).

A különböző fungicidhatóanyag-csoportokkal szembeni rezisztencia mögött álló mutációk azonosítása lehetővé teszi a rezisztencia gyors detektálását PCR-módszerekkel. Valós idejű PCR-módszereket már alkalmaznak a strobilurin-rezisztencia detektálására a *Cercospora beticola*-izolátumok évenkénti monitorozásához (Malandrakis et al., 2011; Bolton et al., 2013). Ezen kívül, módszereket fejlesztettek ki a benzimidazol- és triazol-rezisztens izolátumok kimutatására is (Nikou et al., 2009; Trkulja et al., 2013; Rosenzweig et al., 2015; Shrestha et al., 2020). Kidolgozták a DNS izotermikus körülmények közötti amplifikálásának módszerét, amelyet hurok-mediált izotermikus amplifikációnak (LAMP) neveznek. Ez az eszköz végül lehetővé teszi a *Cercospora beticola* szabadföldi populációi fungicidrezisztenciájának feltérképezését, ezáltal a gombaölőszer-hatóanyagoknak a permetezés előtti körültekintő megválasztását a megfelelő kémiai védekezéshez (Notomi et al., 2015).

A rezisztencia megelőzése és kezelése

Benzimidazolok (MBC): Széles körben elterjedt használata miatt számos kórokozó-populáció esetében a lehető leghamarabb jó rezisztencia-kezelési gyakorlatot kell kialakítani, mely késlelteti, vagy megtudja akadályozni a célzott kórokozók érzékenységének további csökkenését. A benzimidazolokra vonatkozóan nincsenek specifikus ajánlások. A keverékek és az alternatív módszerek egyaránt alkalmasak a rezisztencia-kialakulás kockázatának minimalizálására. Tankkeverékek esetében a benzimidazol a megadott dózisban kell alkalmazni egy más hatásmechanizmusú gombaölő szer megfelelő dóziséval együtt. A benzimidazol-alapú termékeket be kell építeni egy olyan permetezési programba, amely más hatóanyagcsoportba tartozó fungicideket tartalmaz, és hatásos a célkórokozóra. A szelekciós nyomás csökkentése érdekében a benzimidazol-kezelések száma szezononként nem haladhatja meg a termék címkéjén feltüntetett kijuttatások számát. Kerülni kell a benzimidazol-típusú gombaölő szerek kizárólagos, önmagukban történő használatát. A fertőzés megtörténte utáni, gyógyító (kuratív) kezeléseket olyan speciális helyzetekre kell fenntartani, ahol nincs

alternatíva. A fenti ajánlásokat be kell építeni egy átfogó integrált növényvédelmi programba, amely ötvözi a művelési, biológiai és kémiai növényvédelem módszereit. A fenti stratégiák végrehajtása során figyelembe kell venni annak a növénynek, a kórokozónak és a földrajzi területnek a sajátosságait, amelyen a benzimidazol-terméket alkalmazni akarják (FRAC, 2020).

Triazolok (DMI): Ezek az egyik leghatékonyabb fungicidkategoriót képviselik, amely a mezőgazdaság számára számos gazdaságilag fontos kórokozó elleni védekezésben elérhető. A gombaölő szerek ajánlásában és használatában részt vevők érdeke, hogy felhasználásuk hatékonyságuk megmaradásával történjen. Ezeket a gombaölőszerhatóanyagokat egy szezonban nem szabad ismételt alkalommal alkalmazni magas rezisztenciakockázatú kórokozóval szemben, ahol nagy a fertőzési nyomás. A szezon folyamán többszöri alkalmazás során, az eltérő hatóanyagcsoportba tartozó szerek váltott kijuttatása (blokkpermetezés vagy egymás után) vagy hatékony, nem keresztrezisztens gombaölő szerrel való tankkeverék kijuttatása ajánlott. Amennyiben a szerrotáció vagy tankkeverékek alkalmazása, megfelelő partner hiányában nem valósítható meg (nem hatékony vagy nem keverhető), akkor a triazolok használatát a szezon kritikus időszakára kell fenntartani. Új hatóanyag-csoportok bevezetése lehetőséget nyújt a rezisztencia hatékonyabb kezelésére. A leghatékonyabb rezisztenciakezelési stratégiákhoz maximálisan ki kell használni a különböző hatásmódok alkalmazását. A felhasználóknak be kell tartaniuk a gyártók ajánlásait. A rezisztenciáról szóló jelentések sok esetben az ajánlott dózis csökkentéséről vagy a védekezés rossz időzítéséről tanúskodnak. A fungicidhasználat csak a védekezés egyik aspektusa, nem pótolja a rezisztens növényfajták meglétét, a helyes agronómiai gyakorlatot, a növényhigiénét. Az egyetlen cyp51 mutáció exkluzív frekvenciamérése nem elegendő a triazolokkal szembeni rezisztenciahelyzet leírására, de segíthet jobban megérteni a kórokozók triazol-érzékenységében bekövetkező változások hátterét (FRAC, 2020).

Strobilurinok (QoI): A gyártó által meghatározott és az engedélyező hatóság által kibocsájtott engedélyben szereplő célkárosítók ellen, a vonatkozó ajánlásoknak megfelelően, a cukorrépa megadott fejlődési stádiumaiban kell őket kijuttatni. A hatékony kezelés az egyik legkritikusabb pont a rezisztens kórokozó-populációk megjelenésének késleltetésében. Csak más hatóanyagcsoportból származó partnerrel keverve szabad alkalmazni őket, hozzájárulva ezzel is a fungicidhatékonyság maximalizálásához az adott betegségek esetében. Megelőző jelleggel kell alkalmazni

ezeket a gombaölő szereket. Erős fertőzési nyomás mellett a permetezési intervallumot nem szabad elnyújtani. A strobilurin-tartalmú termékekkel végzett permetezések ne haladják meg az összes permetezések számának 50%-át. Ugyanakkor alacsony fertőzési nyomás esetében, ahol a betegség elleni védekezéshez csak egy gombaölő szeres kezelésre van szükség, strobilurin-tartalmú kombinációt lehet használni (a fentiek szerint). Amennyiben strobilurintokat alkalmaznak más cukorrépa-betegségek (például rozsdá, lisztharmat, *Rhizoctonia*, *Ramularia* és *Stemphylium*) elleni kezelésre, akkor is figyelembe kell venni ezek lehetséges hatását a *Cercospora beticola* rezisztenciájának alakulására (FRAC, 2020).

CERCOSPORE LEAF SPOT (*CERCOSPORA BETICOLA* SACC.) DISEASE OF SUGAR BEET (*BETA VULGARIS* L.), POSSIBILITIES OF DEFENSE AGAINST IT AND CONDITIONS OF RESISTANCE – A REVIEW

ÁKOS FERENC BIRÓ – GÁBOR KUKORELLI – ZOLTÁN MOLNÁR

Department of Plant Sciences, Faculty of Agricultural and Food Sciences, Széchenyi István University, Mosonmagyaróvár

SUMMARY

Growing sugar beet is a very expensive and risky, but also very profitable business compared to other field crops grown in Hungary.

In terms of plant protection, the success of sugar beet cultivation, in addition to insect and weed control, is significantly influenced by the solution of special pathological problems. Within this, the dominant pathogen present in Hungary, but in almost all sugar beet growing areas in Europe and the world, is *Cercospora beticola* Sacc. The epidemic proliferation of only this disease can cause up to 50% crop loss.

The resistance of *Cercospora beticola* to fungicides belonging to different groups of active substances has been described in many countries of the world, including Hungary. There are still regular monitoring studies of fungicide resistance in the world today.

Keywords: sugar beet, cercospora, *Cercospora beticola*, cercospora resistance, review

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 számú „Innovatív tudományos műhelyek a hazai agrár felsőoktatásban” című projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

Anke, T. (1995): The antifungal strobilurins and their possible ecological role. *Canadian Journal of Botany*. 73. 940-945. p.

Birla, K., Rivera-Varas, V., Secor, G. A., Khan, M. F., Bolton, M. D. (2012): Characterization of cytochrome b from European field isolates of *Cercospora beticola* with quinone outside inhibitor resistance. *European Journal of Plant Pathology*. 34.475–488. p.

Bleiholder, H., Weltzien, H. C. (1972): Beiträge zur Epidemiologie von *Cercospora beticola* Sacc. and Zuckerrübe. II: Die Konidienbildung in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Licht. *Phytopathologische Zeitschrift*. 73. 46-68. p.

Bolton, M. D., Birla, K., Rivera-Varas, V., Rudolph, K. D., Secor, G. A. (2012a): Characterization of CbCyp51 from field isolates of *Cercospora beticola*. *Phytopathology*, 102. 298–305. p.

Bolton, M.D., Rivera-Varas, V., del Río Mendoza, L.E., Khan, M.F., Secor, G.A. (2012b): Efficacy of variable tetraconazole rates against *Cercospora beticola* isolates with differing in vitro sensitivities to DMI fungicides. *Plant Disease*, 96. 1749–1756. p.

Bolton, M.D., Rivera, V., Secor, G. (2013): Identification of the G143A mutation associated with QoI resistance in *Cercospora beticola* field isolates from Michigan, United States. *Pest Management Science*, 69. 35–39. p.

Bolton, M. D., Ebert, M. K., Faino, L., Rivera-Varas, V., de Jonge, R., Van de Peer, Y. et al (2016): RNA-sequencing of *Cercospora beticola* DMI-sensitive and -resistant isolates after treatment with tetraconazole identifies common and contrasting pathway induction. *Fungal Genetics and Biology*. 92. 1–13. p.

- Brown, M., Waller, C., Charlet, C., Palmieri, R. (1986)*: The use of flutriafol based fungicides for the control of sugar beet diseases in Europe. Presented at the 1986 British Crop Protection Conference Pests and Diseases, 3. 1055–1061. p.
- Bugbee, W. (1982)*: Storage rot of sugar beet. *Plant Disease*, 66. 871–873. p.
- Canova, A. (1959)*: Ricerche su la biologia e l'epidemiologia della *Cercospora beticola* Sacc., Parte IV. *Annali Della Sperimentazione Agraria*, N. S. 13. 685-776.p.
- Carlson, L. (1967)*: Relation of weather factors to dispersal of conidia of *Cercospora beticola* (Sacc). *Journal of the American Society of Sugar Beet Technologists*.14.319. p.
- Chupp, C. A. (1954)*: Monograph of the Fungus Genus *Cercospora*. Ithaca. New York, USA.667. p.
- Collins, D.P., Jacobsen, B.J. (2003)*: Optimizing a *Bacillus subtilis* isolate for biological control of sugar beet *Cercospora* leaf spot. *Biological Control*, 26, 153–161. p.
- Crous, P. W., Kang, J. C., Braun, U. (2001)*: A phylogenetic redefinition of anamorph genera in *Mycosphaerella* based on ITS rDNA sequence and morphology. *Mycologia*, 93. 1081–1101. p.
- Crous, P. W., Braun, U. (2003)*: *Mycosphaerella* and its anamorphs: 1. Names published in *Cercospora* and *Passalora*. *CBS Biodivers. Series 1*. 1-571. p.
- Crous, P. W., Groenwald, J. Z., Groenwald, M., Caldwell, P., Braun, U., Harrington, T. C. (2006a)*: Species of *Cercospora* associated with grey leaf spot of maize. *Stud. Mycol.* 55. 189-197. p.
- Crous, P. W., Wingfield, M. J., Mansilla, J. P., Alfenas, A. C., Groenwald, J. Z. (2006b)*: Polygenetic reassessment of *Mycosphaerella* spp. And their anamorphs occurring on *Eucalyptus*. II. *Stud. Mycol.* 55. 99-131. p.
- Dafang, H., Shuzhi, W. X. Z. (1982)*: Studies on resistance of *Cercospora beticola* to benzimidazole fungicides. *Journal of Plant Protection*, 2. 11. p.
- Dahmen, H., Staub, T. (1992)*: Protective, curative, and eradicator activity of difenoconazole against *Venturia inaequalis*, *Cercospora arachidicola*, and *Alternaria solani*. *Plant Disease*, 76. 774–777. p.
- Davidse, L. C. (1986)*: Benzimidazole fungicides: mechanism of action and biological impact. *Annual Review of Phytopathology*, 24. 43–65. p.
- Davidson, R., Hanson, L., Franc, G. and Panella, L. (2006)*: Analysis of β -tubulin gene fragments from benzimidazole-sensitive and -tolerant *Cercospora beticola*. *Journal of Phytopathology*. 154, 321–328. p.

- Dekker, J. (1986): Preventing and Managing Fungicide Resistance. US National Research Council Committee on Strategies for the Management of Pesticide-Resistant Pest Populations, Pesticide resistance: Strategies and Tactics for Management. Washington, DC: National Academy Press. 347–354. p.*
- El Housni, Z., Ezrari, S., Tahiri, A., Oujja, A., Lahlali, R. (2018): First report of benzimidazole, DMI and QoI-insensitive *Cercospora beticola* in sugar beet in Morocco. New Disease Reports. 38. 17. p.*
- Eriksson, O.(1981): The families of bitunicate ascomycetes. Nordic Journal of Botany.1.800. p.*
- Fernández-Ortuño, D., Torés, J. A., De Vicente, A., Pérez-García, A. (2008): Mechanisms of resistance to QoI fungicides in phytopathogenic fungi. International Microbiology, 11. 1-9. p.*
- Fischl, G. (1992): A cukorrépa betegségek. PATE, Keszthely 1992. 154. p.*
- FRAC (2020): www.FRAC.info
- Franc, G. (2010): Ecology and epidemiology of *Cercospora beticola*. In: Lartey R., Weiland J., Panella L. W., Crous P. W., Windels C. E. (Eds.) *Cercospora Leaf Spot of Sugar Beet and Related Species*. St. Paul, MN: American Phytopathological Society. 7–19. p.*
- Fransden, N. O. (1955): Über den Wirtskreis und die systematische Verwandtschaft von *Cercospora beticola*. Archiv für Mikrobiologie. 22. 145-174. p.*
- Galletti, S., Burzi, P.L., Cerato, C., Marinello, S., Sala, E. (2008): Trichoderma as a potential biocontrol agent for *Cercospora* leaf spot of sugarbeet. Bio Control.53.917-930. p.*
- Georgopoulos, S., Dovas, C. (1973): A serious outbreak of strains of *Cercospora beticola* resistant to benzimidazole fungicides in Northern Greece. Plant Disease Report, 5. 321–324. p.*
- Giannopolitis, C. (1978): Occurrence of strains of *Cercospora beticola* resistant to triphenyltin fungicides in Greece. Plant Disease Report, 62. 205–208. p.*
- Goodwin, S. B., Dunkle, D. L., Zismann, V. L. (2001): Phylogenetic analysis of *Cercospora* and *Mycosphaerella* based on the internal transcribed spacer region of ribosomal DNA. Phytopathology. 91. 648-658. p.*
- Groenwald, M., Groenwald, J. Z., Crous, P. W. (2005): Distinct species exist within the *Cercospora apii* morphotype. Phytopathology. 95. 951-959. p.*

Groenwald, M., Groenwald, J. Z., Braun, U., Crous, P. W. (2006): Host range of *Cercospora apii* and *C. beticola*, and description of *C. apiicola*, a novel species from celery. *Mycologia* 98. 275-285. p.

Groenewald, M., Linde, C., Groenewald, J. Z., Crous, P.W. (2008): Indirect evidence for sexual reproduction in *Cercospora beticola* populations from sugar beet. *Plant Pathology*.57. 25–32. p.

Groenewald, J., Nakashima, C., Nishikawa, J., Shin, H. D., Park, J. H., Jama, A. et al (2013): Species concepts in *Cercospora*: spotting the weeds among the roses. *Studies in Mycology*, 75. 115–170. p.

Habermeyer, J., Gerhard, M., Zinkernagel, V. (1998): The impact of strobilurins on the plant physiology of wheat. 7th International Congress of Plant Pathology, Edinburgh. <https://www.bspp.org.uk/icpp98/5.6/3.html>

Hetzer, T., Kiss, E. (1964): *Cercospora beticola* (Sacc.) rászukutásainak eddigi eredményei. Növénynemesítési és Növénytermesztési Kutató Intézet Közleményei. 3 (1). 91-100. p.

Holtshulte, B. (2000): *Cercospora beticola* — worldwide distribution and incidence. In: Asher M., Holtshulte B., Molard M., Rosso F., Steinrucken G., Beckers R. (Eds.) (2000): IIRB Advances in Sugar Beet Research, *Cercospora beticola* Sacc. Biology, Agronomic Influences and Control Measures in Sugar Beet. 2, Brussels: International Institute for Beet Research, 5–16. p.

Horváth, A., Prigge, G. (1998): JUWEL®, a BASF új fungicidje. 44. Növényvédelmi Tudományos Napok, Budapest. 97. p.

Index Fungorum (2020): www.indexfungorum.org

Ioannidis, P. (1994): Fungicides chemicals and techniques for controlling *Cercospora beticola* Sacc. in Greece. Presented at the Proceedings of Mediterranean Committee Meeting of IIRB, Thessaloniki, Greece, 139–151. p.

Jacobsen, B., Franc, G. (2009): *Cercospora* leaf spot In: Harveson R., Hanson L. and Hein G. (Eds.) *Compendium of Beet Diseases and Pests*. 2, St. Paul, MN: American Phytopathological Society, pp. 7–10. p.

Karadimos, D., Karaoglanidis, G., Tzavella-Klonari, K. (2005): Biological activity and physical modes of action of the Qo inhibitor fungicides trifloxystrobin and pyraclostrobin against *Cercospora beticola*. *Crop Protection*, 24. 23–29. p.

- Karaoglanidis, G., Ioannidis, P., Thanassoulopoulos, C. (2001)*: Influence of fungicide spray schedules on the sensitivity of *Cercospora beticola* to the sterol demethylation-inhibiting fungicide flutriafol. *Crop Protection*, 20. 941–947. p.
- Karaoglanidis, G., Thanassoulopoulos, C. (2003)*: Cross-resistance patterns among sterol biosynthesis inhibiting fungicides (SBIs) in *Cercospora beticola*. *European Journal of Plant Pathology*, 109. 929–934. p.
- Karaoglanidis, G., Ioannidis, P. (2010)*: Fungicide resistance of *Cercospora beticola* in Europe. In: Lartey R., Weiland J., Panella L., Crous P., Windels C. (Eds.) (2010): *Cercospora Leaf Spot of Sugar Beet and Related Species*. St. Paul, MN, USA: American Phytopathological Society. 189–211. p.
- Kayamori, M., Shimizu, M., Yamana, T., Komatsu, T., Minako, S., Shinmura, A. et al (2020)*: First report of QoI resistance in *Cercospora beticola* in sugar beet in Japan. *Journal of General Plant Pathology*. 86. 149–153. p.
- Khan, J., Del Río, L., Nelson, R., Khan, M. (2007)*: Improving the *Cercospora* leaf spot management model for sugar beet in Minnesota and North Dakota. *Plant Disease*, 91.1105–1108. p.
- Khan, J., Qi, A., Khan, M. (2009)*: Fluctuations in number of *Cercospora beticola* conidia in relationship to environment and disease severity in sugar beet. *Phytopathology*, 99. 796–801. p.
- Khan, J., Rio, L. D., Nelson, R., Rivera-Varas, V., Secor, G., Khan, M. (2008)*: Survival, dispersal, and primary infection site for *Cercospora beticola* in sugar beet. *Plant Disease*, 92. 741–745. p.
- Kimmel, J. (1999)*: A cukorrépa lombvédelme az elmúl évtizedben. *Cukoripar*. 52. 2. 71-74. p.
- Kimmel, J. (2003)*: A *Cercospora beticola* fungicid rezisztenciája. *Cukoripar*. 56. 2. 67-70. p.
- Kirk, W., Hanson, L., Franc, G., Stump, W., Gachango, E., Clark, G. et al (2012)*: First report of strobilurin resistance in *Cercospora beticola* in sugar beet (*Beta vulgaris*) in Michigan and Nebraska, USA. *New Disease Reports*, 26. 3. p.
- Klittich, C. J. (2008)*: Milestones in Fungicide Discovery: Chemistry that Changed Agriculture. *Plant Management Network*.:
www.plantmanagementnetwork.org/pub/php/review/2008/milestones

- Knight, N. L., Vaghefi, N., Hansen, Z. R., Kikkert, J. R., Pethybridge, S. J. (2018):* Temporal genetic differentiation of *Cercospora beticola* populations in New York table beet fields. *Plant Disease*, 102. 2074–2082. p.
- Knight, N. L., Vaghefi, N., Kikkert, J. R., Bolton, M. D., Secor, G. A., Rivera, V. V. et al (2019):* Genetic diversity and structure in regional *Cercospora beticola* populations from *Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* suggest two clusters of separate origin. *Phytopathology*. 109. 1280–1292. p.
- Knight, N., Koenick, L., Sharma, S., Pethybridge, S.J. (2020):* Detection of *Cercospora beticola* and *Phoma betae* on table beet seed using quantitative PCR. *Phytopathology*, 110. 943–951. p.
- Kusstatscher, P., Cernava, T., Harms, K., Maier, J., Eigner, H., Berg, G. et al (2019):* Disease incidence in sugar beet fields is correlated with microbial diversity and distinct biological markers. *Phytobiomes Journal*. 3. 22–30. p.
- Lartey, R.T., Weiland, J., Panella, L., Crous, P., Windels, C. (2010): Cercospora Leaf Spot of Sugar Beet and Related Species.* St. Paul, MN, USA: American Phytopathological Society. 296. p.
- Lawrence, J., Meredith, D. (1970):* Wind dispersal of conidia of *Cercospora beticola*. *Phytopathology*, 60. 1076–1078. p.
- Leroux, P., Albertini, C., Gautier, A., Gredt, M., Walker, A.S. (2007):* Mutations in the CYP51 gene correlated with changes in sensitivity to sterol 14 α -demethylation inhibitors in field isolates of *Mycosphaerella graminicola*. *Pest Management Science*. 63. 688–698. p.
- Malandrakis, A. A., Markoglou, A. N., Nikou, D. C., Vontas, J.G., Ziogas, B. N. (2011):* Molecular diagnostic for detecting the cytochrome b G143S–QoI resistance mutation in *Cercospora beticola*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 100. 87–92. p.
- McKay, M.B., Pool, V. W. (1918):* Field studies of *Cercospora beticola*. *Phytopathology*, 8, 119–136. p.
- Mischke, W. (1960):* Untersuchungen über den Einfluss des Bestandsklimas auf die Entwicklung der Ruben-Blattfleckenkrankheit (*Cercospora beticola* Sacc.) im Hinblick auf die Einrichtung eines Warndienstes, *Bayer Landwirtschaft Jahrbuch*. 37. 197–227. p.
- Mukhopadhyay, A. N., Pal, V. (1981):* Variation among the sugar beet isolates of *Cercospora beticola* from India. *Proceedings of the 3rd International Symposium on Plant Pathology*. New Delhi, India. 132–136. p.

- Mycobank* (2020): Taxonomy classification of *Cercospora beticola* Sacc.; *Ramularia beticola*; *Erysiphe betae*. <https://www.mycobank.org>
- Nagel, C.M. (1945): Epiphytology and control of sugar beet leaf spot caused by *Cercospora beticola* Sacc. Iowa Agriculture and Home Economics Experiment Station Research Bulletin, 27, 1. p.
- Nikou, D., Malandrakis, A., Konstantakaki, M., Vontas, J., Markoglou, A., Ziogas, B. (2009): Molecular characterization and detection of overexpressed C-14 alpha-demethylase-based DMI resistance in *Cercospora beticola* field isolates. Pesticide Biochemistry and Physiology. 95.18–27. p.
- Noll, A. (1960): Untersuchungen über die Variabilität von *Cercospora beticola* auf künstlichem Nährboden. Nachrichtenblatt Deutsche Pflanzenschutzdienst. 11 (12). 181-185. p.
- Notomi, T., Mori, Y., Tomita, N., Kanda, H. (2015): Loop-mediated isothermal amplification (LAMP): principle, features, and future prospects. Journal of Microbiology, 53. 1–5. p.
- Pal, V., Mukhopadhyay, A. (1983): Occurrence of strains of *Cercospora beticola* resistance to carbendazim (MBC) in India. Indian Journal of Mycology and Plant Pathology, 13. 333–334. p.
- Piszczek, J., Pieczul, K., Kiniec, A. (2018): First report of G143A strobilurin resistance in *Cercospora beticola* in sugar beet (*Beta vulgaris*) in Poland. Journal of Plant Diseases and Protection, 125. 99–101. p.
- Pitblado, R., Nichols, I. (2005): The implementation of BEETCAST-a weather-timed fungicide spray program for the control of *Cercospora* leaf spot, in Ontario and Michigan. Journal of Sugarbeet Research, 42, 53–54. p.
- Pollack, F. G. (1987): An annotated compilation of *Cercospora* names. Mycol. Mem. 12. 1-212. p.
- Pons, N., Sutton, B. and Gay, J. (1985): Ultrastructure of conidiogenesis in *Cercospora beticola*. Transactions of the British Mycological Society. 85. 405–416. p.
- Pool, V. W., McKay, M. (1916): Climatic conditions as related to *Cercospora beticola*. Journal of Agricultural Research, 6. 21–60. p.
- Pundhir, V. S., Mukhopahyay, A. N. (1987): Recurrence of *Cercospora* leaf-spot of sugarbeet. Indian Journal of Agricultural Sciences. 57. 186-189. p.

- Racca, P., Jörg, E. (2007): CERCBET 3 – a forecaster for epidemic development of *Cercospora beticola*. EPPO Bulletin, 37, 344–349. p.
- Rathaiah, Y. (1977): Stomatal tropism of *Cercospora beticola* in sugar beet. Phytopathology, 67. 358–362. p.
- Rosenzweig, N., Hanson, L. E., Mambetova, S., Jiang, Q., Guza, C., Stewart, J. et al (2020): Temporal population monitoring of fungicide sensitivity in *Cercospora beticola* from sugarbeet (*Beta vulgaris*) in the Upper Great Lakes. Canadian Journal of Plant Pathology. 10. p.
- Rosenzweig, N., Hanson, L., Clark, G., Franc, G., Stump, W., Jiang, Q. et al (2015): Use of PCR-RFLP analysis to monitor fungicide resistance in *Cercospora beticola* populations from sugarbeet (*Beta vulgaris*) in Michigan, United States. Plant Disease, 99. 355–362. p.
- Rossi, V., Battilani, P. (1991): CERCOPRI: a forecasting model for primary infections of *Cercospora* leaf spot of sugarbeet 1. EPPO Bulletin, 21, 527–531. p.
- Ruppel, E. G. (1972): Variation among isolates of *Cercospora beticola* from sugar beet. Phytopathology. 62. 134-136. p.
- Ruppel, E.G. (1986): Foliar diseases caused by fungi. In Compendium of Beet Diseases and Insects (eds. Whitney, E. D., Duffus, J. E.), APS Press, St Paul, Minnesota, 8-9. p.
- Ruppel, E., Scott, P. (1974): Strains of *Cercospora beticola* resistant to benomyl in the USA. Plant Disease Report, 58, 434–436. p.
- Saccardo, P. (1876): Funghi Veneti novi vel critici. Series V. Nuovo Giornale Botanico Italiano. 8. 161–211. p.
- Schlösser, L. A., Koch, F. (1957): Rassenbildung bei *Cercospora beticola*. Zucker. 10. 489-492. p.
- Secor, G., Rivera, V., Bolton, M. (2017): Sensitivity of *Cercospora beticola* to Foliar Fungicides in 2017. The Sugarbeet Research and Education Board of Minnesota and North Dakota. 161–168. p.
- Secor, G.A., Rivera, V.V., Khan, M., Gudmestad, N.C. (2010): Monitoring fungicide sensitivity of *Cercospora beticola* of sugarbeet for disease management decisions. PlantDisease. 94. 1272–1282. p.
- Shane, W., Teng, P. (1984): *Cercospora beticola* infection prediction model presented. Sugar Producer. 10(3). 14-19. p.

- Shane, W., Teng, P. (1992): Impact of *Cercospora* leaf spot on root weight, sugar yield, and purity of *Beta vulgaris*. *Plant Disease*, 76. 812–820. p.
- Shrestha, S., Neubauer, J., Spanner, R., Natwick, M., Rios, J., Metz, N. (2020): Rapid detection of *Cercospora beticola* in sugar beet and mutations associated with fungicide resistance using LAMP or probe-based qPCR. *Plant Disease*. 104. 1654–1661. p.
- Skaracis, G. N., Pavli, O. I., Biancardi, E. (2010): *Cercospora* leaf spot disease of sugar beet. *Sugar Tech*, 12. 220–228. p.
- Smith, G. A. (1985): Response of sugarbeet in Europe and the US to *Cercospora beticola* infection. *Agronomy Journal*. 77. 126–129. p.
- Smith, G. and Ruppel, E. (1973): Association of *Cercospora* leaf spot, gross sucrose, percentage sucrose, and root weight in sugar beet. *Canadian Journal of Plant Science*, 53, 695–696. p.
- Solel, Z., Minz, G. (1971): Infection process of *Cercospora beticola* in sugarbeet in relation to susceptibility. *Phytopathology*, 61. 463–466. p.
- Solel, Z., Wahl, I. (1971): Pathogenic specialization of *Cercospora beticola*. *Phytopathology*. 61. 1081–1183. p.
- Steinkamp, M., Martin, S., Hoefert, L., Ruppel, E. (1979): Ultrastructure of lesions produced by *Cercospora beticola* in leaves of *Beta vulgaris*. *Physiological Plant Pathology*, 15. 13–26. p.
- Tedford, S. L., Burlakoti, R. R., Schaafsma, A. W., Trueman, C. L. (2018): Relationships among airborne *Cercospora beticola* conidia concentration, weather variables, *Cercospora* leaf spot severity in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Canadian Journal of Plant Pathology*. 40. 1–10. p.
- Trkulja, N.R., Milosavljević, A.G., Mitrović, M.S., Jović, J.B., Toševski, I.T., Khan, M.F. et al (2017): Molecular and experimental evidence of multi-resistance of *Cercospora beticola* field populations to MBC, DMI and QoI fungicides. *European Journal of Plant Pathology*, 149. 895–910. p.
- Trkulja, N., Ivanović, Ž., Pfaf-Dolovac, E., Dolovac, N., Mitrović, M., Toševski, I. et al (2013): Characterisation of benzimidazole resistance of *Cercospora beticola* in Serbia using PCR-based detection of resistance-associated mutations of the β -tubulin gene. *European Journal of Plant Pathology*. 135. 889–902. p.

Trueman, C., Hanson, L., Rosenzweig, N., Jiang, Q., Kirk, W. (2013): First report of QoI insensitive *Cercospora beticola* on sugarbeet in Ontario, Canada. *Plant Disease*. 97.1255. p.

Trueman, C., Hanson, L., Somohano, P., Rosenzweig, N. (2017): First report of DMI-insensitive *Cercospora beticola* on sugar beet in Ontario, Canada. *New Disease Reports*, 36. 20. p.

Vaghefi, N., Kikkert, J. R., Bolton, M. D., Hanson, L. E., Secor, G. A., Nelson, S. C. et al (2017): Global genotype flow in *Cercospora beticola* populations confirmed through genotyping-by-sequencing. *PLoS ONE*, 12 (10)

Vereijssen, J., Schneider, J. H., Termorshuizen, A. J. (2005): Root infection of sugar beet by *Cercospora beticola* in a climate chamber and in the field. *European Journal of Plant Pathology*, 112. 201–210. p.

Vereijssen, J., Schneider, J., Jeger, M. (2007): Epidemiology of *Cercospora* leaf spot on sugarbeet: modeling disease dynamics within and between individual plants. *Phytopathology*, 97,1550-1557. p.

Weiland, J., Koch, G. (2004): Sugar beet leaf spot disease (*Cercospora beticola* Sacc.). *Molecular Plant Pathology*, 5, 157–166. p.

Whitney, E. D., Lewellen, R. T. (1976): Identification and distribution of races C1 and C2 of *Cercospora beticola* from sugarbeet. *Phytopathology*. 66. 1158-1160. p.

Windels, C.E., Lamey, H.A., Hilde, D., Widner, J., Knudsen, T. (1998): A *Cercospora* leaf spot model for sugar beet: In practice by an industry. *Plant Disease*. 82. 716–726. p.

Wolf, P. F., Verreet, J. A. (2005): Factors affecting the onset of *Cercospora* leaf spot epidemics in sugar beet and establishment of disease-monitoring thresholds. *Phytopathology*. 95. 269–274. p.

Wood, P. M., Hollomon, D. W. (2003): Critical evaluation of the role of alternative oxidase in the performance of strobilurin and related fungicides acting at the Q(o) site of Complex III. *Pest Management Science*. 59. 499-511. p.

Ziogas, B. N., Malandrakis, A. A. (2015): Sterol biosynthesis inhibitors: C14 demethylation (DMIs). In: Ishii, H. and Hollomon, D. (Eds.) (2015): *Fungicide Resistance in Plant Pathogens*. Tokyo, Japan: Springer. 199–216. p.

URL1: <https://novenyvedoszer.nebih.gov.hu/>

URL1: <https://novenyvedoszer.nebih.gov.hu/>

A szerzők levélcíme – Address of the authors:

Biró Ákos Ferenc
Széchenyi István Egyetem,
Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar,
Növénytudományi Tanszék,
9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

Kukorelli Gábor
Széchenyi István Egyetem,
Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar,
Növénytudományi Tanszék,
9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

Molnár Zoltán
Széchenyi István Egyetem,
Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar,
Növénytudományi Tanszék,
9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.



A THIGMOMORFOGENEZIS FOLYAMATA ÉS JELENTŐSÉGE A KERTÉSZETI TERMESZTÉSBEN – ÁTTEKINTÉS

KISVARGA SZILVIA - FARKAS DÓRA - ISTVÁNFI ZSANETT - ORLÓCI
LÁSZLÓ

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,
Tájépítészeti, Településtervezési és Díszkertészeti Intézet

ÖSSZEFOGLALÁS

A thigmomorfogenezis a növények növekedésének leírására alkalmazott kifejezés, amelyet mechanikai stimulusra reagálva, természetes úton abiotikus tényezők váltanak ki, vagy mesterségesen alakul ki a káros agroklimatikus események szimulációja révén. A thigmomorfogenezissel kapcsolatos vizsgálatok a 18. századig nyúlnak vissza. A jelenséget 1973-ban nevezték el. A thigmomorfogenezis a „thigmo”, a „morpho” és a „genesis” görög eredetű szavakból vonták össze, növényt ténylegesen érő mechanikai stresszre (érintés, simítás) adott válaszként értelmezzük. A thigmomorfogenezis folyamatát morfológiai, anatómiai, élettani, és molekuláris változások sorozata jellemzi. A növények növekedésének ellenőrzött szabályozása a piacképes dísznövények termesztésének előfeltétele. A fogyasztók és a kereskedők az erősebb, kompaktabb habitusú növényeket részesítik előnyben, mivel ezek nemcsak jobban megfelelnek a kereskedelmi és fogyasztói igényeknek, hanem növelik az egységnyi területen termesztendő növények számát, valamint a csomagolást és a szállítást is megkönnyítik. A vegyszerhasználat fokozatos elhagyása korunk egy központi problémája. Egy alternatív megoldást jelenthet a megoldásban a fizikai módon történő vegyszermentes törpítés és növekedésszabályozás. A mechanikai stimuláció által kiváltott thigmomorfogenetikus reakció nem csak dísznövényeknél, hanem a zöldségnövényeknél is egy fontos és alkalmazható technológia lehet, hiszen alternatív megoldásként kimutatták, hogy a

mechanikus stimuláció olyan növényi reakciókat vált ki, amelyek kereskedelmi szempontból releváns fenotípusokat eredményeznek, beleértve a bokrosabb habitust, a nagyobb növényátmérőt, a sötétzöldebb leveleket és a virágzás késleltetését.

Kulcsszavak: thigmomorfogenezis, kertészet, díszkertészet, mechanikai stressz, növekedésszabályozás

IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Boehm (1887) megfigyelte, hogy a levágott paradicsom hajtások respirációja megnőtt – a maximum értéket a vágás utáni 36 órával érte el. Ezen vizsgálatokat *Stick* (1891) és *Richards* is folytatta (1896) (*Audus* 1935), majd *Jaffe* (1973) nevezte el thigmomorfogenezisnek a növényt ténylegesen érő mechanikai stresszre (érintés, simítás) adott választ a „thigmo”, a „morfo” és a „genesis” görög eredetű szavakból. A thigmomorfogenetikus válasz a természetben is előforduló jelenség, leginkább a víz vagy a szél hatására alakul ki (*Jaffe és Forbes* 1993; *Dranski* 2013), de ezen mechanizmus mögöttes molekuláris útjai gyakorlatilag ismeretlenek (*Sousa-Baena et al.* 2021). Az esetleges habituskárosodások szél hatására a természetben gyakran helyreállnak lágyszárúak, és fásszárú növények esetében is, ha a vízhez és a tápanyagokhoz megfelelő módon hozzáférnek (*Gardiner et al.* 2016). A növények rendkívül érzékeny biológiai rendszerrel reagálnak a mechanikus stresszhatásokra. Ezen ingerekre bizonyos növényfajok már pár másodperc elteltével ingerválaszt adnak, s bizonyos fajoknál ez a válasz morfológiai változásokat is eredményezhet. A mechanikai ingerek hatására különböző jelzőmolekulák és fitohormonok lépnek működésbe, mint pl. az intracelluláris kalcium, a jázmonátok, az etilén, az abszciszinsav, az auxin, a brassinoszteroidok, a nitrogén-oxid és a reaktív oxigének. A mechanikai érintés során gének is indukálódnak, amelyek nagy része részt vesz a fehérjekódolásban is (kalcium-érzékelés, sejtfalmódosítási mechanizmusok). Különböző genetikai, biokémiai és molekuláris eszközök alkalmazása lehetővé teszi azoknak a mechanizmusoknak a tisztázását, amelyek révén a növények érzékelik a mechano-ingereket és intracellulárisan továbbítják a jeleket a megfelelő válaszok kiváltása érdekében (*Chehab et al.* 2009). A thigmomorfogenezissel kapcsolatos kutatásokat alapjait a természetben észlelt hatások indították el. *Grace* (1988) széles körben vizsgálta a szél hatásait fűféléken. *Marbà et al.* (1994) a *Thalassia testudinum* Banks hajtásainak vertikális növekedését figyelték meg

négyszeres réten, az 1988-as Gilbert hurrikán hullámainak kitett tartományban. A nagyarányú függőleges hajtásnövekedést a hosszú internódiumokkal és a magas levélszámmal társították, amely a függőleges hajtásnövekedés mértékével megegyező mértékben vagy azonosan nőtt. Szövet- és növényi szinten fokozatos alkalmazkodás és morfológiai változás következik be a mechanopercepció hatására (Sparke *et al.* 2020). Egyes fajok növelik a szövetek szilárdságát merevségét, míg mások nagyobb rugalmassággal reagálnak a mechanikai zavarokra (Biddington 1986) és bizonyos fajok nem reagálnak a mechanikai ingerekre. Amikor a *Hordeum vulgare* L. fiatal növényei, a *Bryonia dioica* Jacq., a *Cucumis sativus* L., a *Phaseolus vulgaris* L., a *Mimosa pudica* L., és a *Ricinus communis* L. mechanikai ingert kaptak az internódium ingerlésével kb. 10 másodpercig naponta egyszer vagy kétszer, a megnyúlás jelentős lelassulása volt tapasztalható. A *Cucurbita pepo* L., a *Pisum sativum* L. és a *Triticum aestivum* L. növények azonban nem mutattak ilyen reakciót. Amikor az ingert 7 nap elteltével megszüntették, a megnyúlás felgyorsult (Jaffe 1973).

Fajon belül is érzékelhető a genomhatás a mechanikai stresszre adott válaszként. *Pinus taeda* L. egyedek egy részénél a radiális növekedés nagyobb lett, míg másoknál csökkent mechanikai inger hatására (Telewski 2016). Az bizonyos, hogy azon fajok esetében, melyek reagálnak a mechanikai stimulációra, az inger hatására a növénymagasság is csökken (Latimer 1991).

A kérdést, miszerint növényi szervek befolyásolhatják-e a thigmomorfoenezist, vagy sem, szintén számos vizsgálati eredmény válaszolja meg. A hajtásescsúcs vagy a sziklevelek korai eltávolítása nem befolyásolja a thigmomorfoenezist, ami annak a jele, hogy ezek a szervek nem gyakorolnak hatást a thigmomorfoenetikus válaszra. Az oltott növényi részek bármelyikének mechanikus stimulációja az alanyban és a nemesben is thigmomorfoenezist eredményez. Ez azt jelzi, hogy az ingerválasz átjut a mechanikailag zavart donorból a nem kezelt alanyba (Erner *et al.* 1980).

Morfológiai változások

A thigmomorfoenezis hatására szöveti változások figyelhetők meg a növényi szervezetben. Knight (1803) írta le elsőként a szél hatására létrejött morfológiai változásokat almafákat vizsgálva. A lekötött, lesúlyozott egyedek magasabbak lettek, és kisebb volt a mért radiális növekedés, mint a nem leszályozott fák esetében. Általánosan elmondható, hogy a mechanikai stimuláció hatására a levelek kisebbek, a

hajtások rövidebbek, a habitus kompaktabb lesz (*Biddington* 1986). Az általános növekedési hatások mellett a thigmomorfogenezis magában foglalhat más változásokat is, amelyek a különböző fajok esetében gyakran eltérők. A mechanikai zavarok által gyakran érintett egyéb folyamatok közé tartozik a virágzási idő, a nyugalom, az öregedés folyamata, a klorofill-tartalom, az aszály ellenállóság, az abszcizinsavszint, az alacsony hőmérsékleti ellenállás, a szűrősség, a sztóma nyílás és a kórokozókkal szembeni ellenállás (*Biddington* 1986). *Anten et al.* (2010) szintén megállapították, hogy a *Plantago major* egyedek mechanikai stimulációja eltérő levélfejlődési reakciókat mutattak a kontroll egyedekhez képest.

A mechanikai erőhatásokat kutatva hangsúlyt kap a gyökérrögízítettség mérése is a tartóközegnél, vagyis annak a pontnak a megtalálása, amely még nem károsítja a növényt. A mechanikai hatásokra kialakult növényi szerkezeti elváltozásokat helyreállító erő alapja a gyökérszövet, a gyökér talajt vagy közeget érintő részei, vagy a talaj távolabbi részei, amelyekre a gyökértömeg közvetve hat. Ezt gyökérszövet tulajdonságaival, a gyökér geometriai jellemzőivel, a gyökér és a talaj közötti súrlódási és tapadási határfelülettel, valamint a talaj anyag tulajdonságaival jellemezhetjük (*Stubbs et al.* 2019). A növények nagyon finom ingereket is képesek érzékelni. Gyökereik a talajban való előrehaladásuk miatt rendkívül érzékenyek az érintésre, s így a futónövények hajtásai is érzékenyek, mivel növekedésük során érezniük és felismerniük kell a mechanikai támaszt (*Mishra et al.* 2019). Az *Arabidopsis thaliana* 'Columbia' fajta ecsettel való mechanikai inger hatására rövidebb levélnyélek alakultak ki a kontroll növényekhez képest (*Braam és Davis* 1990). A taposásnak kitett *Plantago asiatica* egyedek (naponta egyszer egy növényre lépve) a mechanikai stressz hatására csökkent a levélnyél átmérője és a levéllemez szélessége, valamint a levéllemez hosszúságának és szélességének egymáshoz viszonyított aránya nőtt.

Egyéb, thigmomorfogenezishez hasonló mechanikai zavaró hatások is alkalmazhatóak a fásszárú dísznövények termesztésében. A szeizmomorfogenezis (rázó hatás) növeli a xylem mennyiségét a fásszárúaknál (*Telewski* 2016). Az *Abies balsamea* (L.) Mill. betakarításánál a rázás és bálázás eredményeként fellépő mechanikai zavarok indukálják az etilén bioszintézisét és szabályozását a tülevél abszorpciójának szabályozása érdekében (*Korankye et al.* 2018).

A thigmomorfogenezis szöveti szinten nem magyarázható közvetlenül, mivel a farész sűrűsége nem csökken mechanikai zavarás hatására, így az okokat sejtszinten kell kutatni,

fejtették ki munkájukban *Bouche et al.* (2015), akik *Pinus taeda* egyedek hajlításozavarásának következményeként állapították meg a fentieket. A jelenség okait valószínűleg a sejtfal MFA (mikrofibrilláris szög) szintjének mérésénél érdemes keresni. Az *Abies fraseri* faj egyedeinek tracheidáinak szekunder sejtfal MFA növekedése a thigmomorfo-genetikus válasz részeként felelős.

Anatómiai változások

A thigmomorfo-genetikus választ egyaránt vizsgálták a növényi szövetekben, sejtekben. Mechanikai stimuláció hatására a xylem működése intenzívebbé válik. A vaszkuláris kambium által létrehozott új xylemsejtek megrövidülnek, a sejtfalak megvastagodnak, és nagyobbakká válik a mikrofibrillum Mindezek által a farész rugalmasabbá válik (*Telewski* 2006). Az *Arabidopsis thaliana* L. egyedek esetében fokozott xylemtermelés lép fel a megnövekedett magassággal járó megnövekedett súlyra reagálva (*Ko et al.* 2004). A fiatalabb szövetek nagyobb mértékű válaszokat mutatnak, mint az idősebb szövetek (*Biddington* 1986). A nagy távolságú jelzés azért is valószínű, mert a növekedés változásai nem korlátozódnak a közvetlenül stimulált régiókra, hanem olyan helyeken is megtalálhatók, amelyeket közvetlenül nem stimuláltak (*Coutand et al.* 2000).

Szövet-tani és biokémiai mérések is igazolják a thigmomorfo-genézis hatékonyságát. *Phaseolus vulgaris* L. növényeken mechanikai stimulációt végezve csökken a növény-magasság, a sugárirányú növekedés elindul, csökken az epidermisz-sejtek növekedése, csökken a szállítószövetrendszer sejtjei és a bélszöveti sejtek száma. A sugárirányú növekedés és megnövekedett szekunder xylemtermelés oka a megemelkedett kambiális aktivitás. A növények ethrellel történő kezelése a mechanikai stresszhatást követi le (*Biro et al.* 1980). A *Vicia faba* L. mechanikai ingerek hatására hasonlóan reagál, a fotostimuláció által okozott hatásokra, és ennek minden okozott paraméterére, különösen a sejtfalvastagodásra (*Bünning et al.*, 1948). A *Phaseolus vulgaris* L. mechanikai inger hatására etilént termel, ami viszont magas IAA- szint felhalmozódását és ABA-képződést eredményez, amely hozzájárul az internódiumok meghosszabbodásának gátlásához (*Erner et al.* 1982).

A mechanikus zavar-nak kitett fiatal *Phaseolus vulgaris* L. növények első internódiumainak vizsgálata csökkent megnyúlást és fokozott radiális növekedést mutat. A csökkent megnyúlás mind az epidermális, mind a kortikális sejtek csökkent sejtnyúlásának tulajdonítható. A megnövekedett radiális megnövekedés a kortikális

sejtek fokozott megnövekedésének és a megnövekedett kamrai aktivitás következtében megnövekedett másodlagos xylemtermelésnek köszönhető. Ezek a válaszok egyetlen mechanikus zavarás után néhány órán belül megfigyelhetők. A növények ethrellel történő kezelése utánozza a mechanikai zavarok mindezen hatásait (*Biro et al.* 1980).

Pinus taeda L. csemeték szárainak hajlítása következtében a szárban és a gyökérzetben szárazanyag halmozódott fel, elsősorban az oldalsó gyökerekben, ezzel párhuzamosan a levélfelület és szárazanyag-tartalom csökkenését figyelték meg. A növények hajlításával a stimulált magoncok nagyobb túlélési rátát és növekedési sebességet mutattak (*Dranski* 2013). *Ulmus americana* L. magoncok üvegházi körülmények között, mesterséges hajlítások hatására kisebb magasságot és növényátmérőt értek el, a levélfelület nagysága csökkent. Az a megállapítás, hogy a fásszárú növények nagyobb érzékenységet mutatnak az alacsony hajlítási dózissal szemben, mint a nagy hajlítási dózissal szemben, azt jelzi, hogy az enyhe szélnek való kitettség nagy kezdeti változást eredményezhet a szár morfológiájában, ami thigmomorfofenetikus hatást eredményez (*Telewski* 1998).

Élettani változások és folyamatok

Számos inter- és intracelluláris jelátviteli komponens, beleértve a hormonokat és a potenciális másodlagos hírvivőket, szerepet játszik a növények morfogenezis érintés által kiváltott változásaiban. Ezen a ponton a bizonyítékok erőteljesen magukban foglalják ezeket a potenciális jeleket, mint mechanikus stimulációra adott válaszokat, és így fiziológiai reakciókat válthatnak ki. Azonban a növényi mechano-válaszok teljes készletét vezérlő elsődleges jelet, ha ilyen jel létezik, még nem sikerült azonosítani (*Braam* 2005). *Marler* (2019) közleményében ugyancsak olvasható, hogy a thigmomorfofenezist kiváltó endogén jeleket még nem ismerjük teljesen. Kutatásai során kimutatta, hogy a hormonok és a kalcium létfontosságú lehet a mechanikai stimulációra adott morfológiai és növekedési reakciók kialakításában.

Az etilén szerepének vizsgálata jelenleg is folyik a thigmomorfofenetikus mechanizmus mérésekkel kapcsolatban. Korábbi tanulmányok arra utalnak, hogy az etilén szerepe fontos a thigmomorfofenezisben (*Yoshiaki és Ota* 1975). Több mutagenesis- és inhibitoros vizsgálat eredménye arra utal, hogy bár az etilénnek szerepe lehet a thigmomorfofenesis radiális expanziós aspektusaiban, az etiléntermelés és / vagy válasz nem szükséges a mechanikai perturbáció által kiváltott megnyúlás növekedésének csökkenéséhez (*Boyer et al.* 1983; *Biddington* 1986). Ezek az

eredmények összhangban állnak azzal az elképzeléssel, hogy az etiléntermelés lehet az egyik válasz a mechanikai zavarokra, de az etilén valószínűleg nem az elsődleges jelátviteli molekula, amely az összes érintési választ ellenőrzi. *Telewski és Jaffe* (1986) 48 órán keresztül figyelték az etiléntermelést az üvegházban termesztett *Pinus taeda* L. egyedeken, amelyeken hajlítással mechanikai zavarást okoztak; ezen kívül *Abies fraseri* (Pursh) Poir egyedeket figyelték 22 órán keresztül terepen, amely egyedeket szél által közvetített mechanikai zavarásnak tették ki. Mindkét faj etiléntermelése megnőtt 18 órával a mechanikai zavarást követően. A *Bryonia dioica* internódiumainak sebzése során a növények csökkentették etiléntermelésüket, de növelték azon képességüket, hogy az 1-aminociklopropán-1-karbonsavat (ACC) etilénné alakítsák (*Boyer et al.* 1983).

Jaffe 1973-ban megjelent munkájában szintén azon a véleményen van, miszerint a thigmomorfogenezis az etilén közreműködésével megy végbe. *Biro és Jaffe* (1984) babnövényeken vizsgálta a thigmomorfogenezis jelenségét. Munkájuk során kimutatták, hogy a mechanikai zavarok dörzsölés vagy sebzés formájában etiléntermelődést okoznak a *Phaseolus vulgaris* L. cv. Cherokee Wax növényegyedekben. Ez a termelődé a mechanikai hatást követően 45-60 perccel kezdődik, és körülbelül 2 órával később éri el a maximum szintjét. Kimutatták, hogy a thigmomorfofenetikus hatás azokban az internódiumokban éri csak el ezt a legmagasabb szintet, amelyek hossza maximum 10 mm. Az etilén legnagyobb mennyiségben a hosszabb hajtásokban keletkezik. Ha az egyik internódiumot éri a zavaró hatás, az etilén nem vándorol át ide más internódiumoktól, még akkor sem, ha azok thigmomorfofenetikusan reagálnak. Az etilénfejlődés pedig a megnövekedett 1-amino-ciklopropán-1-karbonsav (ACC) eredménye. Az ACC és az etilén szintézis inhibitorai gátolják a radiális növekedést, de nem csökkentik a megnyúlást. Az etilén viszont csak egy befolyásoló tényező a thigmomorfofenezist okozó számos tényező között.

Újabb tanulmányok az érintés által indukálható génextpresszió központi szerepét a TCH géncsaládnak tulajdonítják. Kimutatták, hogy a TCH génekkel rendelkező *Arabidopsis thaliana* L. egyedeken a genom több, mint 2,5%-a az érintésstimulációt követően 30 percen belül legalább kétszeresen expresszálódik (*Lee et al.* 2005).

Az érintés által szabályozott génextpressziót vezérlő jelátviteli utakat és transzkripciós mechanizmusokat még nem kutatják. Az intracelluláris kalcium (Ca^{2+}) fontos hírvivője a mechano-szignalizáció és válaszreakció folyamataiban az állati és a növényi sejtekben egyaránt (*Batiza et al.* 1996). Az intracelluláris Ca^{2+} ingadozások és a fehérje

foszforilációja szerepet játszhatnak az érintéssel szabályozott gén expresszióban (Braam 1992; Wright *et al.* 2002). Funkcionális etilén választ azonban nem szükséges a TCH szabályozásához (Johnson *et al.* 1998). További vizsgálat szükséges a mechanikai perturbációs válaszok és a növényi betegségekkel szembeni rezisztencia közötti lehetséges kapcsolatról (Braam 2004). A kinázt és a transzkripciós faktorokat kódoló gének több mint 10% -ának expressziós szintje megnő az érintéssel stimulált növényekben (Lee *et al.* 2005), ami azt jelzi, hogy sok kináz transzdukciós útvonalat és további transzkripciós aktivitásokat befolyásolhat egy egyszerű érintéses zavar (Braam 2004).

Braam és Davies (1990) *Arabidopsis thaliana* L. növényeket tettek ki vízpermetezés, szubirigáció, szél, érintés, sebzés és sötétség hatásainak. Kimutatták, hogy az *Arabidopsis* növényben a kísérlet hatására legalább négy, érintés által indukált (TCH) gén expressziója történt meg. Tíz-harminc perccel a stimuláció után az mRNS szintje akár 100-szorosára is emelkedett. Az érintéssel stimulált *Arabidopsis* növények kisebb hosszúságú hajtásokat és levélnyelet fejlesztettek. Ezt a fejlődési választ thigmomorfogenezisként írták le. A TCH géncsalád megtalálható a több növényben is, mint például a búzában. A géncsalád működésében a kalmodulin részt vesz, ez arra utal, hogy a kalciumionok és a kalmodulin részt vesznek a környezetből származó jelek transzdukciójában, lehetővé téve a növények számára, hogy érzékeljék és reagáljanak a környezeti változásokra, ezáltal szerepük lehet a thigmomorfogenezisben (Braam és Davies 1990).

Kertészeti jelentőség

A növények növekedésének ellenőrzött szabályozása a piacképes dísnövények termesztésének általános előfeltétele. A fogyasztók és a kereskedők az erősebb, kompaktabb habitusú növényeket részesítik előnyben, mivel ezek nemcsak jobban megfelelnek a kereskedelmi és fogyasztói igényeknek, hanem növelik az egységnyi területen termesztendő növények számát, valamint a csomagolást és a szállítást is megkönnyítik. A vegyszerhasználat fokozatos elhagyása korunk egyik központi problémája. Egy alternatív megoldást jelenthet a megoldásban a fizikai módon történő vegyszermentes törpítés és növekedésszabályozás. A mechanikai stimuláció által kiváltott thigmomorfogenetikus reakció tehát nem csak dísnövényeknél, hanem a zöldségnövényeknél is egy fontos és alkalmazható technológia lehet, hiszen alternatív megoldásként kimutatták, hogy a mechanikus stimuláció olyan növényi reakciókat vált

ki, amelyek kereskedelmi szempontból releváns fenotípusokat eredményeznek, beleértve a bokrosabb habitust, a nagyobb átmérőt, a sötétzöldebb leveleket és a késleltetését. A növények képessége a mechanikai ingerek érzékelésére és azok reagálására adaptív tulajdonság. Számos példa arra utal, hogy a növényházi körülmények között alkalmazott mechanikus stimuláció felhasználható a növények növekedésének megváltoztatására a piacképes növények előállítása érdekében (Börnke és Rocksch 2018). A thigmomorfogenezissel kapcsolatos vizsgálatokat megnehezíti a nagyfokú kézimunka igény, illetve az emberi kéz érintésével járó változó erősségű mechanikai stresszhatást. Ennek kiküszöbölésére terveztek egy mechanikai stressz kiváltó automata gépet, amely az inger erősségét is azonos szinten tudja tartani. A gépre szórófejek is felszerelhetők, amelyekkel imitálni tudják az esőcseppeket (Wang et al. 2019).

A mechanikai stimuláció üvegházi környezetben felhasználható a növekedési ütem megváltoztatására, ezáltal piacképes növények előállítására (Börnke és Rocksch 2018). Latimer és Thomas (1991) *Solanum lycopersicum* Mill. növényeken végzett mechanikai zavarást. Méréseik eredményeképpen az ecsetsörtével kiváltott mechanikai stimuláció növényeknél a szárhosszúság 37%-kal, a levélfelület 31%-kal csökkent a kontroll csoport növényeihez képest. Az ecsettel kezelt *Solanum lycopersicum* Mill. egyedek sötétebb színűek lettek és tartósabbak. Schnelle et al. (1994) két *Solanum lycopersicum* Mill. fajtán végeztek thigmomorfogenezisen alapuló vizsgálatokat. A növényeket 5 héten keresztül, naponta két alkalommal kezelték. Azt tapasztalták, hogy mindkét fajtán megmutatkozott a thigmomorfogenezis hatása. Johjima et al. (1992) szintén *Solanum lycopersicum* Mill. növényeken végeztek mechanikai zavarást. A kezelésekk alatt egy felfüggesztett acélrúd naponta két alkalommal, 1,5 percig, 18 napon keresztül érintette a növényeket. Eredményeik kimutatták, miszerint a kezelt növények levélszáma csökkent, ahogy a levelek mérete és a szárhossz is. A kezelt növények talaj feletti részeinek száraztömege kisebb lett, de a gyökérzet száraztömege gyakran meghaladta a kontroll növényeken mért eredményeket. Sabine et al. (2020) *Solanum lycopersicum* Mill. egyedek harmadik internódiumán okozott mechanikai stresszhatás vizsgálata során megállapították, hogy a kezelt növényeken markáns morfológiai különbségek alakultak ki (fokozott ligninlerakódás), a növénymagasság jelentősen csökkent, ahogyan a harmadik és a negyedik internódiumok hossza is. A fenoltartalom csökkent, míg a flavonoid tartalom nőtt a sejtekben. *Viola tricolor* L. palántákon alkalmazva az ecsettel történő mechanikai ingerhatást a levélhossz csökken, s minél gyakoribb a mechanikai inger, annál kisebb a

levélméret. Napi 10-20 simító hatás 25-30%-os magasságbeli csökkenést eredményezett. A virágzást nem befolyásolta a hatás (*Garner és Langton 1997*). Mechanikusan ingerelt gyógynövények szignifikánsan alacsonyabb hossznövekedést mutattak a kontroll csoporthoz képest. Fajtól és a fajtától függően a cserepes gyógynövények minősége javítható ezzel a módszerrel (*Koch et al. 2011*).

A mechanikai stressz növényvédelmi szempontból is hatásos lehet. *Acacia koa* A. Grey növényeken alkalmazott mechanikai stresszmérésnél kimutatták, hogy 53 gént, köztük a kalcium szignálműködést, az etilén bioszintézist, az abszcizinsav lebontást, a stresszhez kapcsolódó transzkripciós szabályozást és a betegségekkel szembeni rezisztenciát kiváltó gének több, mint kétszeres aktivitása mutatkozott meg a mechanikai stresszt követő 10 perc alatt. *Latimer és Oetting (1999)* megállapították, hogy a naponta kétszeri, alkalmanként 40 mechanikai simító hatást jelentő kondicionálás során az *Aquilegia × hybrida* Sims 'McKana Giants', az *Impatiens hawkeri* Bull. 'Antares', a *Tagetes erecta* L. 'Little Devil Mix' és az *Ageratum houstonianum* Mill. 'Blue Puffs' növényeket fertőztek meg kártevőkkel. Azt tapasztalták, hogy a mechanikai kondicionálás következetesen csökkentette a *Frankliniella occidentalis* és a *Tetranychus urticae* egyedek számát a növényeken.

Rózsánál is hatékonyan alkalmazható a thigmomorfogenezis. *Morel et al. (2012)* felvetik, hogy a rózsánál alkalmazott kémiai retardánsok környezetre gyakorolt hatásuk miatt helyettesítésre szorulnak. Emiatt a *Rosa L. hybrida* 'Radrazz' növényeket különböző gyakoriságokkal tették ki mechanikai zavaró hatásnak. Megfigyelték, hogy a vizsgált egyedek szárhossza csökkent.

Növényházi dísnövények esetében is alkalmazható a mechanikai stresszkezelés. *Epipremnum aureum* egyedeknél a támfalra futtatott növények nagyobb leveleket képeznek, mint a csüngő változatok, ennek oka a thigmomorfogenezis és a gravimorfogenezis (*Benedetto et al., 2018*). A légyökereket és a hajtásokat thigmomorfogenetikus hatásoknak kitéve viszont csökkenthető a növény mérete (*Steinitz és Hagiladi, 1987*). Szintén csökkent a magasság *Coleus blumei* Lour. növényeken alkalmazott vibrációs stressz hatására, a kezelés növelte a szár mechanikai ellenállóképességét is (*Safaei Far et al. 2019*).

Alkalmazása a jövőben

A thigmomorfogenesis alkalmazása megvalósítható üzemi körülmények között, melyre már javaslatok is történnek egyes taxonok termesztési protokollja kapcsán. A *Derianthes nelsonii* Merr. árnyékban nevelt egyedeinél javasolt valamilyen mechanikai stimuláció a termelési protokollhoz (Marler, 2019).

A mechanikai stimuláció könnyen megoldható üvegházi termesztésben. *Viola tricolor* L. palántákon alkalmazva az ecsettel történő mechanikai ingerhatást a levélhossz csökken, s minél gyakoribb a mechanikai inger, annál kisebb a levélméret. Napi 10-20 simító hatás 25-30%-os magasságbeli csökkenést eredményezett. A virágzást nem befolyásolta a hatás (Garner és Langton, 1997). Mechanikus ingert kapott gyógynövények szignifikánsan alacsonyabb hajtáshossz növekedést mutattak a kontroll csoporthoz képest. A fajtól és a fajtától függően a cserepes gyógynövények minősége javítható ezzel a módszerrel (Koch *et al.* 2011).

PROCESS AND SIGNIFICANCE OF THIGMOMORPHOGENESIS IN HORTICULTURAL CULTIVATION - OVERVIEW

SZILVIA KISVARGA – DÓRA FARKAS - ZSANETT ISTVÁNFI - LÁSZLÓ
ORLÓCI

Hungarian University of Agricultural and Life Sciences,
2100 Gödöllő Páter Károly street 1.

SUMMARY

Thigmomorphogenesis is a term used to describe the growth of plants that, in response to a mechanical stimulus, are naturally triggered by abiotic factors or artificially developed by simulating adverse agroclimatic events. Studies of thigmomorphogenesis date back to the 18th century. The phenomenon was scientifically named in 1973. Thigmomorphogenesis has been combined from the Greek words “thigmo,” “morpho,” and “genesis,” interpreted as a response to mechanical stress (touch, smoothing) that actually affects a plant. The process of thigmomorphogenesis is characterized by a series

of morphological, anatomical, and physiological, molecular changes. Controlled control of plant growth is a general prerequisite for the cultivation of marketable ornamental plants. Consumers and traders prefer plants with stronger, more compact habits because they not only better meet commercial and consumer demand, but also increase the number of plants that can be grown per unit area and make packaging and transportation easier. The phasing out of chemical use is a central problem of our time. An alternative solution could be to physically chemical-free dwarfing and growth control in the solution.

Keywords: thigmomorphogenesis, horticulture, ornamental horticulture, mechanical stress, growth regulation

IRODALOMJEGYZÉK

Anten, N.P.R. - Alcalá-Herrera R. - Schieving, F., - Onoda, Y. (2010): Wind and mechanical stimuli differentially affect leaf traits in *Plantago major*. *New Phytologist*, 188, 554-564.

Audus, L. (1935): Mechanical Stimulation and Respiration Rate in the Cherry Laurel. *The New Phytologist*. 34, (5) 386-402.

Batiza A. F - Schulz T. - Masson P. H. (1996): Yeast respond to hypotonic shock with a calcium pulse. *Journal of Biological Chemistry*. 271, 23357– 23362.

Benedetto, A. D. - Galmarini, C. - Tognetti, J. (2018): New insight into how thigmomorphogenesis affects *Epipremnum aureum* plant development. *Horticultura Brasileira*. 36, (3) 330–340.

Biddington, N.L. (1986): The effects of mechanically-induced stress in plants- a review. *Plant Growth Regulation*, 4,103-123.

Biro, R. L. - Hunt, E. R. - Erner, Y. - Jaffe, M. J. (1980): Thigmomorphogenesis: Changes in Cell Division and Elongation in the Internodes of Mechanically-perturbed or Ethrel-treated Bean Plants*. *Annals of Botany*, 45, (6) 655–664.

Biro, R.L. - Jaffe, M.J. (1984): Thigmomorphogenesis: Ethylene evolution and its role in the changes observed in mechanically perturbed bean plants. *Physiologia Plantarum*, 62, 289-296.

Boehm, J. (1887): Ueber die respiration der Kartoffel. *Bot. Zeit.* 45, 671.

Bouche, P. S. - Delzon, S. - Choat, B. – Badel E. - Brodribb, T. J. - Burtlett, R. - Cochard, H. - Charra-Vaskou, K. - Lavigne, B. - Li, S. - Mayr, S. - Morris, H. - Torres-Ruiz, J. M.

- Zufferey, V. - Jansen, S. (2016): Are needles of *Pinus pinaster* more vulnerable to xylem embolism than branches? New insights from X-ray computed tomography. *Plant, Cell & Environment*, 39, 860–870.
- Boyer, N. - Desbiez, M-O. - Hofinger, M. – Gaspar, T. (1983): Effect of Lithium on Thigmomorphogenesis in *Bryonia dioica* Ethylene Production and Sensitivity. *Plant Physiology*. 72, (2) 522-525.
- Börnke, F., - Rocksch, T. (2018): Thigmomorphogenesis–Control of plant growth by mechanical stimulation. *Scientia Horticulturae*. 234, 344–353.
- Braam, J - Davis R. W. (1990): Rain-, wind- and touch-induced expression of calmodulin and calmodulin-related genes in *Arabidopsis*. *Cell* 60, 357–364.
- Braam, J. (1992): Regulated expression of the calmodulin-related TCH genes in cultured *Arabidopsis* cells: Induction by calcium and heat shock. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 89, 3213–3216.
- Braam, J. (2005): In touch: plant responses to mechanical stimuli. *New Phytologist*, 165, 373-389.
- Bünning, E. - Haag, L. - Timmermann, G. (1948): Weitere Untersuchungen über die formative Wirkung des Lichtes und mechanischer Reize auf Pflanzen. *Planta*. 36, (1–2) 178–187.
- Chehab, E. W. - Eich, E. - Braam, J. (2009): Thigmomorphogenesis: a complex plant response to mechano-stimulation, *Journal of Experimental Botany*. 60, (1) 43–56.
- Coutand C. - Julien J. L - Moulia B. - Mauget J. C - Guitard D. (2000): Biomechanical study of the effect of a controlled bending on tomato stem elongation: global mechanical analysis. *Journal of Experimental Botany* 51, 1813–1824.
- Dranski, J. A. L. (2013): Tigmomorfogênese na rustificação e sobrevivência em mudas de *Pinus taeda* L. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon. 107.
- Erner Y. - Biro R. - Jaffe M. J. (1980): Thigmomorphogenesis: Evidence for a translocatable thigmomorphogenetic factor induced by mechanical perturbation of beans (*Phaseolus vulgaris*) *Physiologia Plantarum* 50, 21–25.
- Erner, Y. - Jaffe, M. J. (1982): Thigmomorphogenesis: The Involvement of Auxin and Abscisic Acid in Growth Retardation Due to Mechanical Perturbation, *Plant and Cell Physiology*, Volume 23, (6) 935–941.

- Gardiner, B. - Berry, P., - Moulia, B. (2016):* Review: Wind impacts on plant growth, mechanics and damage. *Plant Science*, 245, 94–118.
- Garner, L. C. - Langton, F. A. (1997):* Brushing pansy (*Viola tricolor* L.) transplants: A flexible, effective method for controlling plant size. *Scientia Horticulturae*. 70, (2) 187–195.
- Grace, J. (1977):* Windbreak Technology. *Plant Response to Wind*. Academic Press. London.
- Jaffe, M.J. (1973):* Thigmomorphogenesis: the response of plant growth and development to mechanical stimulation. *Planta* 114, 143–157.
- Jaffe, M.J. - Forbes, S. (1993):* Thigmomorphogenesis: the effect of mechanical perturbation on plants. *Plant Growth Regul.* 12, 313–324.
- Johjima, T. – Latimer J. G. - Wakita, H. (1992):* Brushing Influences Transplant Growth and Subsequent Yield of Four Cultivars of Tomato and Their Hybrid Lines. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 117, (3) 384–388.
- Johnson, K. A. - Sistrunk, M. L. - Polisensky, D. H. - Braam, J. (1998):* Arabidopsis thaliana responses to mechanical stimulation do not require ETR1 or EIN2. *Plant Physiology* 116, 643– 649.
- Kauze, L. - Ishihara, E. - Lee, K. W. - Borthakur, D. (2016):* Thigmomorphogenesis: changes in morphology, biochemistry, and levels of transcription in response to mechanical stress in *Acacia koa*. *Canadian Journal of Forest Research*. 47, (5) 583-593.
- Knight, T.A. (1803):* Account of some experiments on the descent of sap in trees. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 93, 277-289.
- Ko J.-H. - Han K.-H. - Park S., - Yang J. (2004):* Plant body weight-induced secondary growth in Arabidopsis and its transcription phenotype revealed by whole-transcriptome profiling. *Plant Physiology* 135, 1069– 1083.
- Koch, R. - Sauer, H. - Ruttensperger, U. (2011):* Einfluss von mechanischen Berührungsreizen auf das Wachstum von Küchenkräutern im Topf. *Gesunde Pflanzen*. 63, (4) 199–204.
- Korankye, E. A. - Lada, R. R. - Asiedu, S. K. - Caldwell, C. (2018):* Mechanical Shaking and Baling of Balsam Fir Trees Influence Postharvest Needle Senescence and Abscission. *American Journal of Plant Sciences*, 9, (3) 339–352.
- Latimer, J. (1991):* Brushing can control transplant height. *American Vegetable Grower*, 39, (98) 102-103.

- Latimer, J. G. - Oetting, R. D.* (1999): Conditioning Treatments Affect Insect and Mite Populations on Bedding Plants in the Greenhouse. *HortScience*. 34, (2) 235–238.
- Latimer, J. G. - Thomas, P. A.* (1991): Application of Brushing for Growth Control of Tomato Transplants in a Commercial Setting. *HortTechnology*. 1, (1) 109–110.
- Lee, D. - Polisensky, D.H. - Braam, J.* (2005): Genome-wide identification of touch- and darkness-regulated *Arabidopsis* genes: a focus on calmodulin-like and XTH genes. *New Phytologist*. 165, 429-444.
- Marbà, N. - Gallegos, M. E. - Merino, M. - Duarte, C. M.* (1994): Vertical growth of *Thalassia testudinum*: seasonal and interannual variability. *Aquatic Botany*. 47, (1) 1–11.
- Marler, T. E.* (2019): Thigmomorphogenesis and biomechanical responses of shade-grown *Serianthes nelsonii* plants to stem flexure. *Plant Signaling & Behavior*. 14, (7) 1601953.
- Marler, T. E.* (2019): Thigmomorphogenesis and biomechanical responses of shade-grown *Serianthes nelsonii* plants to stem flexure. *Plant Signaling & Behavior*. 14, (7) 1601953.
- Mishra, R. C. - Bae, H.* (2019): Plant Cognition: Ability to Perceive ‘Touch’ and ‘Sound.’ In S. Sopory (Ed.), *Sensory Biology of Plants*, Springer. 137-162.
- Morel, P. - Crespel, L. - Galopin, G. - Moulia, B.* (2012): Effect of mechanical stimulation on the growth and branching of garden rose. *Scientia Horticulturae*. 135, 59–64.
- Sabina, S. - Jithesh, M. N.* (2020): Mechanical rubbing of tomato internode influence stem growth, improve tensile strength but negatively impact flavonoid levels. *Advances in Horticultural Science*. 34, (4) 373-380.
- Safaei Far, A. - Rezaei Nejad, A. - Shahbazi, F. - Mousavi-Fard, S.* (2019): The Effects of Simulated Vibration Stress on Plant Height and Some Physical and Mechanical Properties of *Coleus blumei* Benth. *International Journal of Horticultural Science and Technology*. 6, (2) 273–282.
- Schnelle, M. A. - McCraw, B. D. - Schmoll, T. J.* (1994): A Brushing Apparatus for Height Control of Bedding Plants. *HortTechnology*. 4, (3) 275–276.
- Sousa-Baena, M. S. - Hernandez-Lopes, J. - Van Sluys M-A.* (2021): Reaching the top through a tortuous path: helical growth in climbing plants. *Current Opinion in Plant Biology*. (59) 101982. ISSN 1369-5266.

Sparke, M. - Wünsche, J. (2020): Mechanosensing of Plants. In I. Warrington (Ed.), Horticultural Reviews. 1. 43–83.

Steinitz, B. - Hagiladi, A. (1987): Thigmomorphogenesis in Climbing *Epipremnum aureum*, *Monstera obliqua* and *Philodendron scandens* (Araceae). Journal of Plant Physiology. 128, (4–5) 461–466.

Stubbs, C. J. - Cook, D. D. - Niklas, K. J. (2019): A general review of the biomechanics of root anchorage. Journal of Experimental Botany, 70, (14) 3439–3451.

Telewski, F. W. - Pruyn, M. L. (1998): Thigmomorphogenesis: a dose response to flexing in *Ulmus americana* seedlings, Tree Physiology. 18, (1) 65–68.

Telewski, F.W. (2016): Flexure wood: mechanical stress induced secondary xylem formation. In Kim, Y. S. - Funada, R. - Singh, A. P. (Eds.) Secondary Xylem Biology: Origins, Functions and Applications, Elsevier, Oxford, ISBN: 978-12-802185-9.

Telewski, F.W. (2006): A unified hypothesis of mechanoperception in plants. American Journal of Botany, 93, 1466-1476.

Telewski, F.W. - Jaffe, M.J. (1986): Thigmomorphogenesis: Field and laboratory studies of *Abies fraseri* in response to wind or mechanical perturbation. Physiologia Plantarum, 66, 211-218.

Yoshiaki, H. - Ota, Y. (1975): Relation between growth inhibition and ethylene production by mechanical stimulation in *Lilium longiflorum*. 16, (1) 185–189.

Wang, K. – Law, K – Leung, M. – Wong, W. – Li, N. (2019): A Labor-saving and Repeatable Touch-force Signaling Mutant Screen Protocol for the Study of Thigmomorphogenesis of a Model Plant *Arabidopsis thaliana*. J Vis Exp. (6), 150.

A szerzők levélcíme – Address of the authors:

Kisvarga Szilvia

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,

Diszertészeti, Településtervezési és Diszertészeti Intézet,

2100 Gödöllő Páter Károly u. 1.;

Kisvarga.Szilvia@uni-mate.hu

Farkas Dóra

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,
Díszkertészeti, Településtervezési és Díszkertészeti Intézet,
2100 Gödöllő Páter Károly u. 1.;
Farkas.Dora@uni-mate.hu

Istvánfi Zsanett

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,
Díszkertészeti, Településtervezési és Díszkertészeti Intézet,
2100 Gödöllő Páter Károly u. 1.;
Istvanfi.Zsanett@uni-mate.hu

Dr. Orlóci László

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,
Díszkertészeti, Településtervezési és Díszkertészeti Intézet,
2100 Gödöllő Páter Károly u. 1.;
Orloci.Laszlo@uni-mate.hu



TÁJÉKOZTATÓ ÉS ÚTMUTATÓ A SZERZŐK RÉSZÉRE

Általános szempontok

1. Csak önálló kutatáson alapuló, más közleményekben meg nem jelent, a növény-tudományok (kertészet, genetika, növénykórtan, állati kártevők, agrometeorológia, növényélettan, agrobotanika, stb.), állattudományok (takarmányozás, állatgenetika, állategészségügy, stb.), élelmiszer- és az ökonómiai tudományok témakörébe tartozó szakcikket közölhetünk. Szemle rovatunkba a fenti tárgykörökhöz tartozó irodalmi összefoglalók, témadokumentációk, módszertani ismertetések, stb. kerülnek.

2. Tudományos folyóiratunkban a dolgozatokat angol vagy magyar nyelven tesszük közzé. Ez attól függ, hogy az új tudományos eredmények nemzetközi vagy inkább hazai érdeklődésre tarthatnak számot. Más nyelven a továbbiakban már nem fogadunk be cikkeket. A közlemények megjelentetésekor, az adott lapszámok összeállításakor az angol nyelvű anyagok előnyt élveznek. A megfelelő nyelvi színvonal fenntartása érdekében angolul írt cikk benyújtásakor anyanyelvi lektor által kiállított igazolást is kérünk csatolni.

3. Csak formailag kifogástalan kéziratot fogadunk el.

4. A kéziratot - annak mellékleteivel együtt - elektronikusan (e-mailben) kell megküldeni Dr. Szalka Éva címére (Acta Agronomica Óváriensis Szerkesztő Bizottsága, 9201 Mosonmagyaróvár, Vár 2.; szalka.eva@sze.hu)

A kézirat összeállítása

1. Formai követelmények

1.1. A kézirat táblázatokkal és ábrákkal együtt legfeljebb 16-20 gépelt - számozatlan - oldal legyen, Times New Roman betűtípussal 11 pt betűmérettel, körben 2 cm-es margót hagyva. A gépirás fekete betűkkel, irodai (A/4-es) papír egyik oldalára, 1,5-es sorközrel történjék. Fej- és lábléc (másként: élőfej és élőláb) használatát kérjük mellőzni.

1.2. Az alcímeket, fejezetcímeket, egyéb elkülönülő részeket 1-1 üres sorral kell elválasztani a fő szövegtől, aláhúzás és sorszám nélkül.

1.3. Az idegen szavak írását fonetikusán vagy, ha még nem honosodtak meg, eredeti helyesírással kérjük.

A magyar fajnevek mellett a tudományos nevet (esetenként a címben is) fel kell tüntetni és *dőlt* betűvel írni. A fajták nevét (magyar és külföldi) a minősítésben elfogadott név szerint kell írni szintén *dőlt* betűvel (pl.: *Sinapis alba* cv. *Budakalász sárga*).

2. A kézirat szerkezete

2.1. A dolgozat címe alatt a szerző(k) neve, munkahelye(ik) és annak székhelye szerepeljen. Pontos cím megadása itt kerülendő. A tudományos fokozatot és munkahelyi beosztást nem közöljük.

2.2. A tudományos közlemények kialakult rendjének és kézirat felépítését a következő csoportosítás szerint kérjük:

-Bevezetés

-Irodalmi áttekintés

-Anyag és módszer

-Eredmények

-Következtetések

-Összefoglalás

-Irodalom

az Acta Agronomica Óváriensis hagyományainak megfelelően. Egyes fejezetek a téma jellege, terjedelme szerint összevonhatók: Bevezetés és az Irodalmi áttekintés, Eredmények és a Következtetések. Az Anyag és módszer helyett a szerző a Kísérletek leírása címet is használhatja.

2.3. Az Irodalom után kérjük feltüntetni a szerző(k) levélcímét (név, munkahely és annak székhelye a postai irányítószámmal; e-mail cím).

A fentiek szerint csoportosított kéziratot kiegészítik (külön oldalakra gépelve):

·magyar nyelvű közlemény esetén

-magyar nyelvű összefoglalás a végén kulcsszavakkal

-angol nyelvű összefoglalás a dolgozat angol nyelvű címével, a szerző(k) nevével és a munkahely(ük) feltüntetésével, a végén angol kulcsszavakkal

-táblázatok és ábrák

-angol nyelvű táblázat- és ábracímek

-az ábrák feliratai és a táblázatok fejlécei angol fordításban, számozva pl:

1. táblázat Az egynyári szélfű előfordulása a Fertő-Hanság-medence
kukoricavetéseiben

Table 1 Occurrence of Mercurialis annua L. in maize fields in the Fertő-Hanság-basin

Felvételezési hely (1)		Egynyári szélfű száma a felvételi négyzetekben (2)				Átlag db/4m ² (3)
		1.	2.	3.	4.	
1.	Hanságfalva*	46	72	54	36	52
2.	Jánossomorja	38	27	25	30	30
3.	Hanságliget	2	1	4	0	2

* a tenyészidőszak folyamán sem mechanikai, sem pedig kémiai gyomirtásban nem részesült

(1) location of survey, (2) the number of *Mercurialis annua* L. in sample squares, (3) average pc/4m², *during the vegetation period neither mechanical nor chemical weed control was carried out

angol nyelvű közlemény esetén

-angol nyelvű összefoglalás a végén kulcsszavakkal

-magyar nyelvű összefoglalás a dolgozat magyar címével, a szerző(k) nevével és a munkahely(ük) feltüntetésével, a végén magyar kulcsszavakkal

-külön-külön oldalakra gépelt táblázatok és ábrák (a címek, feliratok, fejlécek magyarra fordítása nem szükséges)

3. Irodalmi hivatkozások

3.1. Az Irodalmi áttekintés című fejezetbe - hivatkozáskor - egy szerző esetében a szerzők családnévének *dőlt* betűvel történő leírásával és zárójelben közleményének kiadási évszámával szerepeljen, pl. *Pocsai* (1986). Szerzőpárosra történő hivatkozás esetén a két név közé "és" szót tegyen: *Pocsai és Szabó* (1983). Kettőnél több szerző esetében az elsőként feltüntetett szerző neve után *et al.* rövidítést kérjük: *Schmidt et al.* (1983). Egy mondaton vagy témakörön belül, ha több szerzőre hivatkozik, akkor a mondat vagy a témakör tárgyalása végén zárójelben kérjük a szerzők nevének és közleményei kiadási évszámának a felsorolását: (*Ivánicsics* 1971, *Gergátz és Seregi* 1985, *Szajkó* 1987). Tudományos közleményben, könyvben szereplő hivatkozásra történő utalásnál a cit. rövidítést kell használni (*Wagner* 1979 cit. *Fahn* 1982).

3.2. Az Irodalom összeállításakor a dolgozatban idézett szerzők nevét ABC- és megjelenési időrendű felsorolásban kérjük. Minden tanulmányt külön sorban kell feltüntetni.

-Folyóiratban megjelent cikkekre való hivatkozásnál a szerző családneve és keresztnévének kezdőbetűje *dőlten* szedve, a cikk megjelenésének évszáma zárójelben, a cikk címe, a folyóirat megnevezése, az évfolyam száma félkövéren, a lapszám zárójelben és a kezdő-befejező oldal száma kerül felsorolásra.

Pl: *Pocsai K.* (1986): A lóbab vetőmagszükséglet csökkentési lehetőségeinek vizsgálata. *Növénytermelés.* 35, (1) 39-44.

-Ha az idézett hivatkozás könyvben jelent meg, akkor kérjük a szerző nevét, a könyv megjelenési évszámát zárójelben, a könyv címét, kiadóját és a kiadó székhelyét közölni.

Pl: *Schmidt J.* (1995): Gazdasági állataink takarmányozása. Mezőgazda Kiadó, Budapest.

-Ha olyan szerzőre hivatkozik, aki társszerzőként írt a könyvben, akkor a szerző nevét az általa írt (hivatkozott) fejezet címét kérjük feltüntetni és "in" megjelöléssel a könyv szerkesztőjének a nevét, a könyv címét, kiadóját és a kiadó székhelyét

Pl.: *Gimesi A.* (1979): A lucerna vegyszeres gyomirtása. In *Bócsa I. (szerk.): A lucerna termesztése.* Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

-Ha az Irodalmi áttekintésben több szerző által írt tanulmányra hivatkozott, az Irodalomban az összes szerző nevét ki kell írni és a nevek közé szóközzel kötőjelet keli tenni.

Pl: *Varga-Haszonits Z. – Varga Z. – Schmidt R. – Lantos Zs.* (1997): The effect of climatic conditions on the maize production. *Acta Agronomica Óváriensis.* 39, (1-2) 1-14.

-Külföldi szerző esetében család- és keresztnév közé vesszőt kell tenni. Magyar szerzőknél ez kerülendő.

4. Ábrák és táblázatok

4.1. A digitalizált képeket, ábrákat lehetőleg TIF, JPG kiterjesztésű állományként küldjük, és ne a dokumentumba ágyazva.

4.2. Táblázatok esetében kérjük, hogy szintén Times New Roman betűtípust használjanak. Lehetőleg mellőzzék a táblázatok különféle kerettel és vonalvastagságokkal történő tarkítását.

4.3. Kérjük az eredeti ábrák, táblázatok külön állományban (pl. XLS) történő mentését, ezeket se illesszék a dokumentumba.

4.4. Ugyanazon adatsorokat grafikus és táblázatos formában nem közöljük.

Kérjük, hogy a szövegben az ábrákra és táblázatokra (dőlt betűvel írva) minden esetben hivatkozzanak.

5. Lektorálás, korrektúra

5.1. Az angol nyelvű cikkek lektorálása két szinten (anyanyelvi és szakmai bírálat) történik. Mint azt az *Általános szempontokban* említettük, a közlemény beérkezésekor benyújtott anyanyelvi lektori igazolás biztosítja az *előzetes nyelvi ellenőrzést*, amit *szakmai bírálat* követ.

5.2. A szerzők javaslatot tehetnek a két szakmai lektor személyére. A javasolt lektorok tudományos minősítéssel rendelkező személyek legyenek. A javasolt lektorokat a Szerkesztőbizottság hagyja jóvá, illetve jelöl ki új lektorokat. A lektorok nevét az évi utolsó lapszámban a borító belső oldalán – a bírált cikk megjelölése nélkül - feltüntetjük.

5.3. A lektori véleményeket a szerzőknek a kézirattal együtt megküldjük. Kérjük a szerzőket, hogy dolgozatukat a bírálók javaslata alapján módosítva mielőbb küldjék vissza e-mail-ben (szalka.eva@sze.hu). Csak a végleges összeállítású, hibátlan dolgozatot tudjuk szerkeszteni.

A megjelent dolgozatokért a Szerkesztőbizottság tiszteletdíjat nem tud fizetni.

A kéziratokat a dolgozat megjelenéséig megőrizzük.

A Szerkesztőbizottság

Kiadásért felelős:

Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar dékánja

A szerkesztőség címe

H-9201 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

Tartalom

Notterpek T. J. - Ördögh V.:	
Az <i>Arthrospira platensis</i> cianobaktérium hatása bogyós gyümölcsű faiskolai növényekre.....	4
Prágai A. - Pajor F. - Bodnár Á.:	
Alpaka gyapjútípusok mikro – és makroelemtartalma két magyarországi telepen.....	21
Tóth E. A. - Kalocsai R.:	
Cink szerepe a talajban és a növényekben.....	32
Kovácsovics T. - Gulyás L.:	
A Furioso-north star fajta tenyésztésének vizsgálata Magyarországon.....	49
Ambrus B.:	
Robottechnika alkalmazási lehetőségei a szántóföldi növényvédelemben	67
Buzás H. - Szafner G. - Kovács A. J.:	
A tehéntej fő kazein és savófehérje frakcióinak kvalitatív és kvantitatív meghatározásának lehetőségei elektroforetikus módszerekkel és nagyhatékonyságú folyadékromatográfiával.....	98
Szemle	126
Bíró Á. F. - Kukorelli G. - Molnár Z.:	
A cukorrépa (<i>Beta vulgaris</i> L.) legjelentősebb fertőző betegségei és az ellenük való védekezés lehetőségei.....	127
Bíró Á. F. - Kukorelli G. - Molnár Z.:	
A cukorrépa (<i>Beta vulgaris</i> L.) cercosporás levélrügyája (<i>Cercospora beticola</i> Sacc.), az ellene való védekezés lehetőségei és a fungicidekkel szembeni rezisztenciája.....	147
Kisvarga Sz. - Farkas D. - Istvánfi Zs. - Orlóci L.:	
A thigmomorfogenezis folyamata és jelentősége a kertészeti termesztésben – áttekintés.....	172
Tájékoztató és útmutató a szerzők részére.....	189