



A SZÁRAZSÁG HATÁSA A SZEMES KUKORICA ÉS CIROK VEGETATÍV ÉS GENERATÍV FEJLŐDÉSÉRE

SZEMERITS BALÁZS¹ –KUKORELLI GÁBOR^{1,2}–MOLNÁR ZOLTÁN^{1,2}

¹Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

²HUN-REN-SZE PhatoPlant-Lab Research Group

ÖSSZEFOGLALÁS

A kukorica (*Zea mays* L.) és a cirok (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) két különböző gabonanövény, amelyek számos hasonlóságot mutatnak, de vannak köztük eltérések a szárazságtűrés terén. A kukorica nagyobb vízigényű növény, mint a cirok. A cirok a kisebb vízmennyiséget hatékonyabban hasznosítja a fotoszintézis és a vízvesztés minimalizálása révén, valamint mély gyökérrendszert fejleszt ki, amely segít abban, hogy elérje a mélyebb talajrétegekben található vizet is. Ez lehetővé teszi a növény számára a szárazság idején a vízfelvételt és az aszályos periódusok túlélését. A cirok az egyre gyakoribb tartós aszályok ellenére is stabil terméshozamot hoz, míg a kukorica esetében a megfelelő vízellátás bizonytalansága egyre nagyobb mértékben válik meghatározó tényezővé. Ugyanakkor a szárazságtűrés nemcsak a növényfajtól függ, hanem számos más tényezőtől is, mint például a talaj típusa, a termesztési módszerek, az agrotechnikai módszerek stb., változtatásától. A szemle cikkben a két növényfaj szárazságtűréséhez kapcsolódó tulajdonságokról, ezek összehasonlításáról számolunk be.

Kulcsszavak: kukorica, cirok, vegetatív és generatív fejlődés, szárazságtűrés.

BEVEZETÉS

A növénytermesztés eredményességét nagyban befolyásolják a klimatikus adottságok. A kedvezőtlen időjárási tényezők egyre nagyobb számban való előfordulása, beleértve a gyakori hosszan tartó száraz periódusokat is, jelentősen befolyásolhatják a növények növekedését és terméshozamát (Zamani *et al.*, 2020).

A növények számára a szélsőséges csapadékeloszlás, mint abiotikus stressztényező, egyre fokozottabb figyelmet érdemel. Az évi csapadék mennyiség korábban sem volt teljes mértékben elegendő, hiszen mindössze 50-80%-ban fedezte a szántóföldi növények vízigényét. Az évről évre emelkedő hőmérséklet, hosszabb száraz periódusok és a hektikus, sok esetben csekély csapadékmennyiség folytán a talaj nedvességtartalma csökken, ami egyértelmű veszélyt jelent a növények folyamatos vízellátására, ezáltal a növények zökkenőmentes életfunkciójának ellátására (Vágó *et al.*, 2006; Stekauerová és Nagy, 2006; Ruzsányi, 1996).

Napjaink szántóföldi növénytermesztésében a fő korlátozó tényező a víz. Ebből adódik, hogy a rendelkezésre álló vízkészleteket a lehető legnagyobb hatékonysággal kell felhasználnunk, minimalizálva az elpárologásból eredő veszteségeket (*Stewart és Steine, r* 1990). A változó ökológiai feltételekhez való alkalmazkodást jórészt a természetstechnológiai adaptáció növelésével, agrotechnikai tényezők optimalizálásával tudjuk elérni. Az adaptáció növelését pedig részben képesek vagyunk befolyásolni például a megfelelő tápanyagellátás, öntözés, talajművelés, vetésváltás stb., által (*Pepó et al.* 2005).

A növényeknél a szárazságból eredő stresszhatások különféle morfológiai, fiziológiai és biokémiai válaszreakciókat váltanak ki. A globális felmelegedés miatt fontos megtalálni azokat a módszereket és stratégiákat, amelyek növelhetik a növények stressztűrő képességét az aszályal szemben (*Jongdee et al.*, 2002; *Anjum et al.*, 2017).

A jövőben egyre fontosabbá válik a különböző kultúrnövények összehasonlítása száraz éghajlati adottságok között, hogy a stresszes körülményeket legjobban toleráló haszonnövények kerüljenek előtérbe a köztermesztés során (*Noein és Soleymani*, 2022). A kukorica (*Zea mays* L.) és a cirok (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) a legfontosabb gabonanövények közé tartoznak, amelyek nagyszámú embert táplálnak a világon. Ennek megfelelően növekedésük, fiziológiájuk és terméshozamuk vizsgálata szárazságstressz alatt fontos (*Wasaya et al.*, 2018).

A kukorica a világ legnagyobb mennyiségben termelt növénye, ugyanakkor az éghajlatváltozásnak köszönhetően egyre kevesebb helyen lehet gazdaságosan termesztetni. A cirok a kukorica, a rizs, a búza és az árpa után az ötödik legnagyobb vetésterületen termesztik a világon. Kevesebb vizet igényel, és a szélsőségesen száraz éghajlati változásokat is jobban tolerálja, mint más gabonafélék. Az éghajlatváltozás és a globális hőmérséklet emelkedésével szemben egy lehetséges alternatívát jelenthet a növénytermesztéssel foglalkozó gazdálkodók számára. Mind a két növény jelentős takarmány- és élelmiszer feldolgozási alapanyagként szolgál köszönhetően a hektárra vetített magas termőképességüknek, sokoldalú felhasználhatóságuknak, valamint a viszonylag egyszerű természetstechnológiájuknak.

Bár a két növény sok tekintetben hasonlóságot mutat és a fogyasztás szempontjából is szinte tökéletes alternatívái egymásnak, mindazonáltal termőképességük, termésbiztonságuk az éghajlati és területi adottságoktól függően nagy mértékben változik. A kukorica produktivitását a tápanyagellátás, a vetésidő és a tőszám befolyásolja. A három tényező szoros interakcióban van egymással (Sárvári 2003).

Az ökológiai tényezők közül az utóbbi évtizedekben kedvezőtlenül alakultak a klimatikus tényezők, az átlaghőmérséklet emelkedett, az éves csapadék mennyisége pedig csökkent, mely befolyásolja talajaink vízszolgáltató képességét. Időjárásunk szélsőségesebbé vált, ennek következtében a hibridek termésszűkítése a korábbi 10-0%-ról 30-50%-ra nőtt (*Jakab*, 2001; *Fekete et al.*, 2012; *Dóka*, 2015).

A CIROK AGROÖKOLÓGIAI ÉS TERMESZTÉSTECHNOLÓGIAI HATÁSAINAK PROMINENS TÉNYEZŐI

A CIROKTERMESZTÉS HATÉKONYSÁGÁT MEGHATÁROZÓ TÉNYEZŐK

A cirok (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) az egyik legfontosabb gabonanövénye a szubtrópusoknak, az egyedülálló szárazságtűrő képessége, valamint gyenge adottságú termőhellyel és magas hőmérséklettel szembeni ellenállósága miatt (Taylor, 2003). A cirkot meleg vagy forró területeken termesztik elsősorban. A növekedés számára a legkedvezőbb átlaghőmérséklet 27 °C, a minimális hőmérséklet 16 °C. Összehasonlítva más növények szárazságtűrésével elmondható, hogy a cirok jobban tűri az extrém hőmérsékletet, de a termésképzés idején a szélsőségesen magas hőmérséklet csökkenti a hozamot. A cirok a rövidnappalos növények közé tartozik (Sárvári, 2011).

Tadesse és mtsai (2018) vizsgálatában a talaj tápanyagainak hatását vizsgálták a cirok növekedésére, termésére és termésösszetevőire Dél-Tigrayban, Etiópiában. Megállapították, hogy a cirok növekedése szempontjából az optimális pH-tartomány 6,0 és 7,5 pH közé esik. Továbbá a jó vízáteresztőképességű és a tápanyagban gazdag talajok a legmegfelelőbbek az egészséges növekedés elősegítésében és a magas hozamok elérésében. Fontos azonban megjegyezni, hogy a cirok sokféle talajtípuson termeszthető eredményesen. Homokos talajok könnyű szerkezetűek, jó vízáteresztő képességgel rendelkeznek, és gyorsan melegednek. Ennél a talajtípusnál előnyös, ha a cirkot korán vetik, mivel az ilyen szerkezetű talajokból a nedvesség korán elfogyhat (Murthy et al., 2014). A homokos-lössös talajok közepes vízvezető képességgel rendelkeznek, de azért még mindig jól szellőznek és melegednek. Ezek a talajok jók lehetnek a korai vagy közepes érés idejű cirokfajták termesztésére (Gyasi et al., 2020). A lössös talajok jó víz- és tápanyagmegtartó képességgel rendelkeznek. Ezek a talajok általában közepes vízvezetéssel rendelkeznek és képesek megtartani a vizet a növények számára. A lössös talajok alkalmasak lehetnek közép- vagy késői érésű cirokfajták termesztésére (Hannaway és Cropper, 2001). A növény tolerálja a mészben gazdag talajokat is. A meszes talajok jó szerkezetűek és jó tápanyagszolgáltató képességgel rendelkeznek a növények számára. Azonban fontos odafigyelni a talaj pH-jának megfelelő szabályozására az optimális növekedése érdekében (Yosef et al., 2019).

Termése a tengerszint feletti 500-1700 méteres magasságban jónak mondható, ahol jellemzően 300 mm-es vagy az feletti az éves csapadékmennyiség (Jaetzold et al., 2006). A cirok számos kedvező és kedvezőtlen talajadottság között sikeresen termesztendő. Csapadékos évben a legmagasabb terméseredmény kötött talajon, míg száraz évben a homoktalajon volt megfigyelhető. Kis mértékben a sós talajt is tolerálja (Sárvári, 2011).

A cirok szélsőségesen gyenge környezeti adottságokkal szembeni ellenállóságát egyfelől C4-es fotoszintetikus növény mivoltának is köszönheti. Az ilyen növények magas szén-dioxid megkötési tulajdonságuk miatt jól alkalmazkodnak a Magyarországtól délebbre fekvő szélességi körök kedvezőtlen környezeti adottságaihoz, ahol jellemző a magas hőmérséklet és a tartós szárazság (Edwards et al., 2004). Másfelől a növény stressztűrését a kiterjedt mélyre hatoló gyökérzetének, vastagon viaszos levélzetének – amely jelentősen segíti a vízvesztés csökkentésében –, valamint az aszályos időszakban

való növekedést szabályozó képességének is köszönheti (*Balole and Legwaila, 2005*). A növény száraz éghajlati adottságokban rejlő természetességi potenciálját a világ számos részén elismerték (*Meeske et al., 1993*).

A SZÁRAZSÁGSTRESSZ HATÁSA A CIROK SZEMTERMÉSÉRE

A talajban lévő nedvesség hiánya az egyik legfontosabb abiotikus stressz faktor, amely világszinten súlyosan befolyásolja a növények terméshozamát. A talaj nedvességének hiányát másképpen aszálystressznek is nevezhetjük. Az aszálystressz képes jelentősen késleltetni a virágzás megindulását, és befolyásolja a virágzat fejlődését és az új levelek megjelenését (*Ndlovu és mtsai., 2021*).

Korábbi tanulmányokban már fény derült arra, hogy a cirok az egyik legjobb szárazságtűrő növény, amely alkalmazkodott a változatos agro-ökológiához és az alacsony ráfordítású, kevés input felhasználást igénylő mezőgazdasághoz. Ugyanakkor figyelembe kell venni azt, hogy a tartós szárazság még a szárazságtűrő fajok esetében is jelentős termésvesztést okozhat (*Assefa et al., 2010; Sabadin et al., 2012.; Ray et al., 2018*). Ez a mechanizmus pedig akár jelentős szemtermés csökkenésében nyilvánulhat meg. A vízhiányos területeken a kevés és rendszertelen csapadék gyakran szemtermés veszteséget idéz elő (*Hattori et al., 2005*). Ez még akkor is igaz, ha az aszálystressz a vetés időszakában jelentkezik, ami arra utal, hogy az aszálystressz a növény fejlődésének bármely szakaszában csökkentheti a szemtermést (*Gano et al., 2021*).

Azonban szinte minden korábbi tanulmány az egy adott fejlődési szakaszban fellépő stressz hatására összpontosított, holott természetes körülmények között a stressz következetesen több szakaszban is jelen van. *Assefa* és munkatársai 2010-es kísérleteiben a vegetatív és reprodukzív szakaszban fellépő aszálystressz 36-55%-kal csökkentette a szemtermést. A szárnövekedés és virágzási szakaszban fellépő stressz 87%-os csökkenést okozott a szemtermésben, de csak a vegetatív szakaszban fellépő, lényegesen hosszabb és intenzívebb aszálystressz vezethet ilyen jelentős termés-csökkenéshez (*Crafurd és Peacock, 1993*).

Bár az aszálystressz bármely fejlődési szakaszban hatással lehet a szemtermésre, a generatív szakaszban fellépő stressz drasztikusabb hatással van a szemtermésre. Ennek az az oka, hogy a környezet és a szemtermés, valamint annak minősége között erősebb kapcsolat van a generatív szakaszban, mint a korábbi vegetatív szakaszokban. A generatív szakaszokban, mint a virágzás, a termékenyülés, a mikrosporogenezis és a magtelítődés fellépő tartós aszályok kritikusnak bizonyultak, amelyek kedvezőtlenül befolyásolhatják a szemtermést (*Kebede et al., 2001; Sarshad et al., 2021*). Különösen a magtelítődés a legérzékenyebb szakasza a növény fejlődésének, amely a levelekben és a magok közötti enzimek és transzporterek szállítását foglalja magában (*De Souza et al., 2015; Sehgal et al., 2018*).

A GENOTIPUSOK KIVÁLASZTÁSÁNAK FONTOSSÁGA A CIROKTERMESZTÉS BEN

Prom-u-thai és mtsai (2017) tanulmányban a cirok genetikai sokféleségét vizsgálták mikroszatellit markerek és mezőgazdasági-morfológiai jellemzők (beleértve a magméretet és a színt) alapján. A kutatás eredményei kimutatták, hogy az egyes vizsgált cirokok között jelentős genetikai változatosság mutatkozott mind a mikroszatellit markerek, mind a mezőgazdasági-morfológiai jellemzők alapján. A mikroszatellit markerek által észlelt polimorfizmusok segítségével sikeresen elkülönítették és azonosították genetikai sokféleségüket. Az agro-morfológiai jellemzők alapján szignifikáns különbségeket találtak, ideértve a magméretet és a színt. Ez a megfigyelés alátámasztja, hogy a genetikai sokféleség hozzájárul a cirok fajta- és jellemzőgazdagságához.

A cirok termésének mérete és színe a növény genetikájától függ. A szemek átmérője 1,5 és 5 mm között változhat, és különböző alakúak lehetnek, például kerek vagy ovális. Továbbá a szemek különböző színekkel rendelkezhetnek, a genotípustól függően, melyek a fehértől, sárgán, barnán, pirosan, feketén és lilán át terjedhetnek. A gabonaszín az antocianin nevű pigment jelenlététől függ (*Prom-u-thai et al.*, 2017; *Hamblin M. T. et al.*, 2006; *Wu Y et al.*, 2019).

A növény magassága olyan mennyiségi tulajdonság, amelyet sok gén befolyásol. Azon gének, amelyek a növény magasságát szabályozzák, befolyásolják az internódiumok hosszát, ami meghatározza a növény magasságát. Az alacsonyabb növények néhány régióban előnyösebbek, mert a szeles vagy esős időjárás esetén kevésbé hajlamosak a dőlésre vagy a törésre (*Kholova et al.*, 2010; *Rooney et al.*, 2009; *Slafer et al.*, 1993; *van Oosterom et al.*, 2003).

A korai és a késői cirokfajták közötti fő különbség az érés vagy virágzás idejében rejlik. A korai cirokfajtáknak rövidebb a tenyészidejük és hamarabb érnek be, míg a késői fajtáknak hosszabb a tenyészidejük és több időbe telik, amíg beérnek. A korai cirokfajták érési ideje általában rövidebb, körülbelül 70-90 nap. A késői cirokfajták érési ideje ezzel szemben hosszabb, gyakran meghaladja a 100 napot (*Rooney és Aydin*, 2005; *Reddy és Ramesh*, 2009; *Funnell-Harris és Pedersen*, 2009; *Duncan és Carrow*, 2009). A korai cirokfajták jól alkalmazhatók azokban a régiókban, ahol rövidebb optimális vegetációs időre van lehetőség vagy ahol a fagyveszély magas. Ezek a genotípusok korábban vethetők és takaríthatók be, lehetővé téve a gazdálkodók számára, hogy elkerüljék a kedvezőtlen időjárási körülményeket.

A késői cirokfajták ezzel szemben jobban megfelelnek a hosszabb tenyészidőszakkal és kedvező éghajlati viszonyokkal rendelkező régiókban (*House*, 1985; *Srinivasan és Satyanarayana*, 2014; *Reddy et al.*, 2015). A késői cirokfajták általában nagyobb terméspotenciállal rendelkeznek a korai fajtákhoz képest. A hosszabb tenyészidőszak több vegetatív és reprodukzív növekedést tesz lehetővé, ami nagyobb biomassa termelést és potenciálisan magasabb szemtermést eredményez (*House*, 1985; *Bindinger et al.*, 2001; *Ejeta*, 2007; *Negrão et al.*, 2017). A korai cirokfajtákat gyakran a szárazságtűrő képességükre nemesítik, és korlátozott vízellátottság mellett is jól teljesítenek. Olyan környezetekhez alkalmazkodtak, ahol a vízhiány problémát jelent. A késői cirokfajták

szintén jó szárazságtűrő képességgel rendelkezhetnek, de kissé eltérő mechanizmusokkal vagy alkalmazkodással küzdhetnek meg a tartós szárazságstresszel szemben (*Singh and Navi, 2005; Ravi et al., 2011; Kholova et al., 2010; Tao et al., 2017*).

Az egyes genotípusok teljesítménye és az éghajlati anomáliákkal szembeni válaszreakciójuk különböző környezeti adottságok között rendkívül széles lehet (Yan et al. 2000). A genotípusok környezeti hatásainak vizsgálatakor számos statisztikai módszert alkalmaznak, de a leghatékonyabbnak vélt statisztikai módszer az AMMI, azaz az additív főhatásokat és a multiplikatív interakciók vizsgálata (*Yan et al., 2000; Zobel et al., 1988; Silva et al., 2015; Oliveira et al., 2022*). Az AMMI analízis képes pontosan és grafikusán szemléltetni a genotípusok és a környezet közötti komplex kölcsönhatásokat (*Zobel et al., 1988*).

Sanjari és mtsai (2021) a virágzás utáni szárazságstressz hatását vizsgálták a cirok viaszra, a relatív víztartalomra, a klorofillra és a szemtermésre. Ők szárazságstresszre érzékeny és toleráns genotípusokat használtak. A viasz mennyisége mind az érzékeny, mind a szárazságtűrő genotípusokban nőtt, és a szárazságtűrő genotípusok magasabb relatív víztartalma növelte a cirok hozamát szárazságstressz alatt az érzékeny genotípushoz képest.

Akman és mtsai (2021) szerint a cirok toleráns genotípusoknál nagyobb volt a keményítő felhalmozódása, az ozmotikus potenciál és a gyökérbiomassza. A szerzők arra következtettek, hogy a cirok a levélen található sztómák nyílásának szabályozásával, a gyökérnövekedés szabályozásával és a keményítő felhalmozásával javították a szárazságstressz alatti növekedésüket.

Fontos megjegyezni, hogy a korai vagy késői cirokfajták sajátos tulajdonságai és teljesítménye a nemesítési programtól, a régiótól és a rendelkezésre álló konkrét fajtától függően változhat. A gazdálkodók és a kutatók a helyi környezeti feltételek, a termesztési rendszer, valamint a terméshozamra, érettségre és szemminőségre vonatkozó kívánt célok alapján választják ki a megfelelő fajtát (*Li et al., 2021; Kholova et al., 2010; Singh et al., 2018; Reddy, 2019; Das. 2020*).

A KUKORICA AGROÖKOLÓGIAI ÉS TERMESZTÉSTECHNOLÓGIAI HATÁSAINAK PROMINENS TÉNYEZŐI

A KUKORICATERMESZTÉS HATÉKONYSÁGÁT MEGHATÁROZÓ TÉNYEZŐK

A kukorica Magyarország egyik legfontosabb termesztett növénye, azonban termése nagyban függ az adott év időjárási viszonyaitól. A 2022-es év egyik történelmi aszályát követően egyre komolyabb odafigyelést kell szentelni a növény termésbiztonságának, termésstabilitásának növelésére. A termésbiztonság- és stabilitás növelhető a termőhelyhez igazodó hibrid választással és a szakszerű, a növény igényeit kielégítő hibridspecifikus agrotechnika alkalmazásával (*Pepó, 2006*). Az agronómiai hatékonyság fokozása érdekében olyan korszerű agrotechnikai elemeket kell alkalmazni, amely kielégíti a növény igényeit és mérséklik az ökológiai szélsőségek hatását (*Pepó, 2010*).

Huzsvai és Nagy (2005) szerint a kukorica termését elsősorban a napsütés, a tápanyag és a vízellátás befolyásolja. A kukorica a vizet elsősorban a gyökerein keresztül veszi fel,

így a talajban rendelkezésre álló víz mennyisége, rendkívül fontos. A terméseredmények éves ingadozását a májusban érkező csapadék mennyisége és a júliusban fennálló talajnedvességi értékek befolyásolják. A növény számára a víz elérhetősége hatással van a tápanyag felhasználhatóságára is.

Pepó et al. (2005) kísérleti eredményei alapján az áprilisi átlagos csapadékmennyiség kedvezően hat a vetésre, amely homogén kelést és erőteljes kezdeti fejlődést tesz lehetővé. A száraz, hűvös május viszont vontatott fejlődést eredményez.

El Hallof és Sárvári (2005) kutatásai rávilágítanak, hogy a kukorica termésminőségében és termésstabilitásában a legfontosabb tényezők a tápanyagellátás, a hibrid és a csapadék. A kukorica termesztés eredménye és biztonsága jelentősen függ a növény számára felvehető víz mértékétől (*Antal és Jolánkai*, 2005). A kukorica 1 kg növényi szárazanyag előállításához optimális tápanyagellátás mellett 300 liter vizet párologtat el (*Fekete*, 1969). A Magyarországon leginkább alkalmazott középérésű kukoricahibrideknek tenyészidejük alatt 430-545 mm vízre van szüksége. Legnagyobb vízigénye július elejétől augusztus közepéig, végéig tart, amikor is 200-250 mm vízre van szükség a növény optimális fejlődéséhez (*Ruzsányi*, 1987).

Florescu és Plesa (1968) szerint nagy szerepet játszik a víz a fotoszintézisben és a légzésben. A víz hiánya nélkül még a tápanyagban jól ellátott talaj esetében sem tud a növény megfelelően fejlődni és magas termést hozni. A kukorica vízfelhasználása a címerhányás és szemképződés időszakában (július 15 és augusztus 20. között) a legnagyobb.

A talajok fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságai jelentősen romlottak az elmúlt időszakban, amelyek kedvezőtlenül hatnak a szántóföldi növénytermesztésre (*Pepó et al.*, 2002). Ez a tényező kihatással van a kukoricatermesztés eredményességére. A növény termése gazdaságosan a mélyrétegű, humuszban gazdag, középkötött csernozjom talajokon termesztendő, azonban rentábilis eredménnyel lehet előállítani a barna erdőtalajok, csernozjom barna erdőtalajok, réti öntések, réti és lápos réti talajokon is (*Bocz*, 1992).

A termőhely, termőképesség ismerete mellett fontos az egyes genotípusok alkalmazkodóképessége. A magas termésszintet csak intenzív technológiával, az arra alkalmas jó kukoricatermő helyeken és kedvező időjárási körülmények között lehet megvalósítani. A közepes vagy gyenge termőhelyeken elsősorban a hibridek adaptációs képessége lesz a fő szempont (*Széll és Makra*, 2013).

A helyspecifikusan kiválasztott modern hibridek termesztésénél fontos, hogy intenzitásuknak megfelelően harmónikus NPK műtrágyázás és a hatékony növényvédelem is, hiszen az agrotechnikai elemek hatása a talaj-növény rendszerben komplex módon érvényesül (*Sárvári et al.*, 2006; *Sárvári és Boros*, 2009; *Németh*, 2006). Ha megtaláljuk az egyensúlyt a tudatos hibridválasztás és a megfelelően alkalmazott agrotechnikai módszerek között, úgy nemcsak a költségeket lehet optimalizálni, hanem mérsékelni is lehet a termésnövekedés kockázatát amellet, hogy javul a növénytermesztés biológiai, agronómiai és ökonómiai hatékonysága, ezáltal nagyobb és stabilabb termésmennyiség, valamint jobb minőség valósulhat meg (*Molnár*, 2009a; *Pepó és Sárvár*, 2013).

A SZÁRAZSÁGSTRESSZ HATÁSA A KUKORICA SZEMTERMÉSÉRE

A szárazságstresszt a kukorica növény számára a víz elérhetőségének korlátozottsága, csökkenése okozza (Farid et al., 2019a). Az aszálystressz károsítja a növények növekedését és az anyagsere-folyamatokat, amelyek nagymértékben függenek a víz elérhetőségétől (Hammad et al., 2014; Sah et al., 2020). Emellett ez a stressz másodlagos hatással van a tápanyagok felvételére is, amelyek szintén a víz közvetítésével jutnak a növényekbe (Waraich et al., 2011).

Ottar et al. (1987) szerint a tartós aszály hatására a levelekben lévő turgor hatás romlik és ennek okán a fotoszintézis csökken, amely idő előtti öregedéshez, elhaláshoz vezet. Ezzel szemben a szemek növekedése és tápanyag ellátása a fotoszintézis teljes megszűnése ellenére is folytatódik, ami nagy valószínűséggel a szárban tartalékolt asszimiláták rekombinálódása útján történik. A szemek telítődésének időszakában jelentkező 10 napos vízhiány még nem okoz lényeges hatást a fiziológiai érésben, mindazonáltal amennyiben a vízhiány tartósan fennáll, úgy a szemek tömege lényegesen csökken.

Fadhli és mtsai (2020) a kukorica szárazságtűrését befolyásoló legfontosabb morfológiai jellemzőket vizsgálták, hogy ezáltal kiválaszthassák a lehető legszárazságtűrőbb fajtákat. Az eredmények szerint a szárazságstressz negatív hatása jellemzően a csövek súlyának és a zöld levelek számának csökkenésében volt megfigyelhető.

A kukorica 150-240 cm mélységből is képes fölvenni a vizet. A címerhányást közvetlenül megelőző és az azt követő hím- és nővirágzás ideje a víz- és a tápanyagellátás szempontjából döntő szerepet játszik. Ekkor veszi fel a növény a vízigényének az 50-60%-át. A levelek elhalása miatti termésveszteség 20-50% is lehet, ugyanakkor a vegetáció első felében a túl magas talajnedvesség is okozhat terméscsökkenést (Palkovits és Koltai, 2004; Bocz, 1976; Radics, 1994; Dóka, 2015).

Pepó (2001) vizsgálatai szerint az aszályos évjárat, valamint a monokultúras termesztés együttes hatására 4,8-5,9 t/ha-ral csökkent a kukorica termése. A monokultúrában termesztett kukorica és a tenyészidőszakban hullott csapadék mennyisége között szoros összefüggés van, ami jelentősen kihat a termés eredményére is.

Kismányoky (2005) vizsgálatai azt bizonyítják, hogy a csapadékos és az aszályos évek között lényeges különbség van. A csapadékos évek átlagában 9,01 t/ha, míg aszályos évek átlagában 5,60 t/ha volt a termésszint. Ez a különbség közel kétszeres különbséget mutatott a csapadékos, optimális év javára nézve, azonos agrotechnikai viszonyok mellett.

Mi és mtsai (2018) összehasonlították a szárazságstressz hatásait a vegetatív és generatív fejlődési szakaszokban. Kutatásukból megállapították, hogy a generatív fejlődési szakasz a kukorica termésproduktuma szempontjából a legmeghatározóbb, mivel terméshozama, az ebben a stádiumban bekövetkező stressz hatására markánsan 41,6-46,6%-kal csökkent, ellentétben a vegetatív növekedési szakasszal, ahol 18,6-26,2%-os terméscsökkenést tapasztaltak. A szerzők ennek megfelelően azt a következtetést vonták le, hogy az aszályos stresszhelyzetben a jelentősebb

terméscsökkenés elkerülése érdekében a kukorica megfelelő vízellátásának biztosítása fontosabb a generatív szakaszban, mint a vegetatív szakaszban.

A GENOTIPUSOK KIVÁLASZTÁSÁNAK FONTOSÁGA A KUKORICATERMESZTÉSBEN

A kukorica hibridek kiválasztásánál a termésmennyiség, a gyors vízleadás, a jó szárszilárdság, a betegség-ellenállóság mellett fontos szemponttá vált az éghajlati anomáliákkal szembeni ellenállóság, úgymint szárazságtűrés és adaptációs képesség (Kiss, 2010). A kukorica nem a szárazságra toleráns növények közé tartozik, mivel növekedésében és terméshozamában is lényeges csökkenés figyelhető meg, amennyiben tartós vízhiányban szenved. A kukorica szárazságstressz-tűrőképessége azonban javítható az arra toleráns egyedek kiválasztásával és termesztésével. Ezzel szemben a kukoricához képest a cirok aszálystresszre toleránsabb kultúrnövény. A szárazságstressz alatti növénytolerancia vizsgálatának egyik szokásos módszere, hogy a növényt stresszkörülményeknek vetik alá és méri a növekedését, fiziológiáját, valamint termését (Abraha *et al.*, 2015; Fadhli *et al.*, 2020).

Adeyemi és mtsai (2018) szerint az aszálystressz a globális átlagtermés 15%-ával csökkentheti a terméshozamot. Ezért a kukoricatermesztésben az aszálystressz problémáját meg kell oldani. Az egyik ilyen megoldás az aszálystresszre adaptív kukoricafajták nemesítése. Az adaptív fajta olyan hibrid, amely különböző helyeken és körülmények között stabil és/vagy megnövelt terméshozamú termelékenységgel rendelkezik (Lin *et al.*, 1986). Az adaptív kukorica hibrid létrehozásához számos kukorica genotípust kell kiválasztani és termesztetni normál és stresszes körülmények között, hogy megfelelően lehessen vizsgálni és értékelni az ezekre a körülményekre adott reakcióikat.

Cooper *et al.* (2014) modellezett és mért adatokat is bemutattak, amelyek azt mutatták, hogy egy szárazságtűrő kukoricahibrid lassabban használta fel a talajvizet, mint egy szárazságra érzékeny hibrid, és ezáltal nagyobb mennyiségű talajvizet tartott fenn a későbbi, kritikusabb növekedési szakaszokban. A szárazságtűrő hibrid kevesebb vizet használt fel, mint a szárazságra érzékeny hibrid, miközben nagyobb termést produkált.

A hibridek egyik legmeghatározóbb tulajdonsága a tenyészidő hossza. A termőhely elhelyezkedése fontos szempont, hogy milyen éréscsoportba tartozó hibridek kerüljenek kiválasztásra és melyek azok, amik megfelelő és stabil terméssel termesztethetők (Nagy, 2007). Hegyi *et al.* (2008) vizsgálatában 96 db kukorica hibrid hektáronkénti terméseredményét és minőségi paramétereit vizsgálták 2006-2007 között Martonvásáron és Szarvason. A csapadékos 2006-ban kiemelkedő terméseket, míg az aszályos 2007-ben viszont jóval alacsonyabb terméseredményeket tapasztaltak. Nagy és Megyes (2009) legnagyobb termést a középerésű hibridekkel érték el, ugyanakkor a termésingadozás szempontjából is ez a csoport volt a legérzékenyebb, ami az évenkénti nyereség csökkenésére is jelentős mértékben kihatott. A legkisebb termésingadozást az igen korai érésű (FAO 200-299) hibridek hozták, mindazonáltal ezen hibridek termése több mint egy tonnával maradt alul a középerésű hibridek hozamától.

A hazai köztermesztés legnagyobb szegmensét a FAO 300-as érésű hibridek alkotják. Szieberth és Széll (1998) Magyarországon a FAO 240-nél rövidebb és a FAO 500-nál

hosszabb tenyészidejű hibridek termesztését a jövedelmezőséget tekintve kockázatosnak vélik. Az újabb korszerű hibridek köztermesztésbe vonásával jelentősen megváltozott a hibridek tenyészterület igénye, illetve tőszám-sűrítetősége, továbbá az agrotechnikával szemben mutatott igényességük is jelentősen nőtt (Sárvári, 1994). A kukoricatermesztésben a hibrid 25%-ban járul hozzá a termés növekedéséhez a fajtákhoz képest (Bocz, 1981). Győrffy (1976) 15 év átlagában vizsgálta, hogy mekkora az egyes növénytermesztési tényezők súlya a termésnövekedésben. Kutatásai szerint a genotípus 26%-ban járult hozzá a magasabb termés eléréséhez. Berzsényi és Győrffy (1995) 35 éves tartamkísérleti eredményeik alapján a genotípus jelentőségét már 30%-ban határozták meg. Széll és Makhajda (2000) vizsgálatai arra világítanak rá, hogy a kukorica hibridek maximum terméspotenciáljának eléréséhez, az adott termőhely optimális tőszámának megválasztása szükséges. 10000 tő/ha csökkenés 10-13% termés kiesést okoz.

A kukoricatermesztésben olyan hibridspecifikus technológiát kell alkalmazni, amely a vetésidőt a többi termesztési tényezővel összhangban, megfelelően adaptálja a termesztett hibridre, figyelembe véve a hibrid egyedí genotípusából adódó érzékenységet is (Sárvári et al., 2002). A vetésidő meghatározó hatással van a hibridek tenyészidejére és a növekedés dinamikájára, termésre és betakarításkori víztartalomra is. Az optimális vetésidő kedvezően hat az előzőekre, azonban ez fajtától függően eltérőképpen alakul (Pásztor, 1958). A vetés időpontjára egyes hibridek érzékenyebben, míg más hibridek kevésbé érzékenyen reagálhatnak. A rövid tenyészidejű hibridek általában kevésbé érzékenyek a késői vetésre (Rác et al., 2005). Vannak hibridek, amelyeknek a korai hőmennyiség megléte kifejezetten fontos és ennek optimálistól való eltérése erős termésdepressziót okoz (Kiss, 2012b). A modern kukoricatermesztés technológiai kulcseleme a korszerű genotípusok megfelelő használata. A kukoricanevelésben a fő irányok továbbra is a terméspotenciál növelése és a gyors vízleadás (Sárvári et al., 2011b).

A SZÁRAZSÁGSTRESSZ HATÁSÁNAK ÖSSZEHASONLÍTÁSA A KUKORICA ÉS CIROK SZEMTERMÉSÉRE

A cirok szárazságtűrése egyrészt azért jobb a kukoricáénál, mivel körülbelül kétszer annyi gyökeret fejleszt és ezek vízfelszívó képessége is nagyobb. További előnyös tulajdonságai, hogy a levelek párologtató felülete is csak a fele a kukoricához viszonyítva és azonos körülmények között a cirok levelei sokkal kevesebb vizet veszítenek, mint a kukoricáé. Egy hosszan tartó szárazság idején képes arra, hogy a növekedését részlegesen megállítsa, majd mikor ismételt esőt kap, károsodás nélkül tovább fejlődik. (Láng, 1976; Antal, 2005). Abban az esetben, ha a buga aszály következtében vagy esetleg egyéb okból elpusztul, akkor képes arra, hogy a felső nóduszokból elágazást növeszt, amelyen előbb virágzatot, később termést hoz (Antal, 2005). Ez a tulajdonsága pedig rendkívül hasznos a tekintetben, hogy Magyarország 2021-ben a Központi Statisztikai Hivatal által megállapított 4,1453 millió hektáros szántó szántóterület nagyságából, csak 110.506 ha, azaz 2,67% ami ténylegesen öntözésre került (https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0008.html).

Bhattarai és mtsai (2020) egy kétéves szántóföldi kísérletben vizsgálták az aszályból eredő stressz hatását a kukorica és a cirok növekedésére, termésére és annak minőségére. Kísérletükben 50, 200 és 350 mm-es öntözési mennyiséget alkalmaztak. A legmagasabb öntözési mennyiség eredményezte a legmagasabb növénynövekedést, beleértve a megnövekedett levélfelület-indexet is. A kukoricához képest a cirok vízháztartása - a kisebb vízpotenciál, morfológiai tulajdonságok és az ebből adódó levegő hőmérsékletének különbségei miatt - alacsonyabb volt és magasabb lignin-koncentrációval is rendelkezett, mint a kukorica. A kutatók ennek megfelelően azt tapasztalták, hogy a cirok nagyobb növekedést és terméshozamot mutatott és jobb tápértékkel rendelkezett a szárazságstressz körülményei között.

KÖVETKEZTETÉSEK

A cirok és a kukorica két különböző gabonaféle, amelyek számos szempontból eltérnek egymástól. Mindkét növény fontos szerepet játszik az élelmiszeriparban és az állattenyésztésben, de különböző környezeti feltételek esetében, különböző előnyökkel rendelkeznek. A legmarkánsabb elkülönülés a két növény esetében egyrészt szárazságtűrésükből, másrészt a környezeti adaptációs képességükből ered. A kukorica a világ egyik legnagyobb vetésterülettel rendelkező növényeként ismert, azonban a globális klímaváltozás és a vele járó változó időjárási viszonyok veszélyeztetik domináns szerepét az élelmiszerláncban. Az új nemesítési technológiák és a gondosan megtervezett agrotechnológiai stratégiák viszont jelentős javulást eredményeztek a kukorica szárazságtűrő képességének fejlesztésében. Mindazonáltal számba kell vetni olyan extrém adaptációs képességgel rendelkező növényeket, amelyek nagyobb terméshozamuk révén alternatívaként egészíthetők ki vagy akár helyettesíthetik a növényt.

A cirok kiválóan tolerálja a száraz környezeti feltételeket, széleskörű agro-ökológiai alkalmazkodóképességgel bír, és az alacsony inputigényű, gyenge adottságokkal rendelkező mezőgazdasági rendszerekben is hatékonyan hasznosítható. Természetes glutén- és toxinmentes termése révén pedig egyre nagyobb népszerűségnek örvend az élelmiszer- és takarmányipar szereplői körében. A korábban említett pozitív tulajdonságainak köszönhetően a fokozódó népességnövekedés, a termőterület csökkenés és a globális felmelegedés okozta kihívások megoldásában, még kihasználatlan lehetőségeket rejt. A kukoricához hasonló termesztési technológiájának és tápanyagtartalmának köszönhetően, ez a növény kiváló választás lehet mind a hazai, mind a nemzetközi mértékben vett fogyasztás szempontjából.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

This project has received funding from the HUN-REN Hungarian Research Network.

THE EFFECT OF DROUGHT ON THE VEGETATIVE AND GENERATIVE DEVELOPMENT OF MAIZE AND SORGHUM

BALÁZS SZEMERITS ¹ – GÁBOR KUKORELLI ^{1,2} – ZOLTÁN MOLNÁR ^{1,2}

¹ Széchenyi István University, Albert Kázmér Faculty of Mosonmagyaróvár,
Mosonmagyaróvár

² HUN-REN-SZE PhatoPlant-Lab Research Group

THE EFFECT OF DROUGHT ON THE VEGETATIVE AND GENERATIVE DEVELOPMENT OF MAIZE AND SORGHUM

BALÁZS SZEMERITS – GÁBOR KUKORELLI – ZOLTÁN MOLNÁR

Széchenyi István University, Albert Kázmér Faculty of Mosonmagyaróvár,
Mosonmagyaróvár

ABSTRACT

Maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) are two different cereal crops, which show many similarities but also differ in their drought tolerance. Maize is a more water-demanding plant than sorghum. Sorghum more efficiently utilizes smaller quantities of water for photosynthesis and minimizing water loss, as well as developing a deep root system, which helps it to reach water even in deeper soil layers. This allows the plant to take up water during drought and survive drought periods. Despite increasingly frequent persistent droughts, sorghum produces a stable crop yield, while for maize the uncertainty of adequate water supply is becoming increasingly critical. However, drought tolerance not only depends on the plant species but also on several other factors, such as the type of soil, cultivation methods, agrotechnical methods, etc., variations. In this article, we report on the properties related to the drought tolerance of the two plant species and compare them.

Keywords: maize, sorghum, vegetative and generative development, drought tolerance.

FELHASZNÁLT IRODALOM

Adewale, S.A. – Akinwale, R. – Fakorede, M.A.B. - Badu-Apraku, B. (2018): Genetic analysis of drought-adaptive traits at seedling stage in early-maturing maize inbred lines and field performance under stress conditions. Euphytica 214: 145

Akman, H. – Zhang, C. – Ejeta, G. (2021): Physio-morphological, biochemical, and anatomical traits of drought-tolerant and susceptible sorghum cultivars under pre- and post-anthesis drought. Physiol Plant. 2021 Jun;172(2):912-921. doi: 10.1111/ppl.13242.

Anjum, S. A. - Ashraf, U. - Tanveer, M. - Khan, I. - Hussain, S. - Shahzad, B.,(2017): Drought induced changes in growth, osmolyte accumulation

- Antal J. – Jolánkai M.* (2005): Növénytermesztés tan 1. A növénytermesztés alapjai. Gabonafélék. Mezőgazda Kiadó Budapest
- Atokpke, I. D. K.* (2003): Sorghum and millet breeding in West Africa in practice. In: Belton, P. S. -Taylor, J. R. N. (Eds.) The proteins of sorghum and millet: Enhancing nutritional and functional properties for Africa. Pretoria: AFRIPRO, Pp 137-148.
- Assefa, Y. – Staggenborg, S.A. – Prasad, V.P.V.* (2010): Grain sorghum water requirement and responses to drought stress: a review. *Crop Manag* 9(1):1–11.
<https://doi.org/10.1094/CM-2010-1109-01-RV>
- Balole, T. V. – Legwaila, G. M.* (2005): Sorghum bicolor (L.) Moench. In: Jansen, P. C. M. and D. Cardon (Eds). Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale, PROTA Wageningen, Netherlands
- Bidinger, F.R. - Raju, D. S., - Singh, S.* (2001): Sorghum improvement for drought resistance with emphasis on stay-green. In Proceedings of the International Conference on Genetic Improvement of Sorghum and Pearl Millet (pp. 145-159).
- Bhattarai, B. – Singh, S. – West, C.P. - Ritchie G. L. - Trostle C.L.* (2020): Effect of Deficit Irrigation on Physiology and Forage Yield of Forage Sorghum, Pearl Millet, and Corn. *Crop Sci.*, 60(4): 2167 -2179.
- Bocz E.* (1976): Trágyázási útmutató. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Bocz E.* (1992): Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 887.
- Cooper, M. – Ghossein, C. – Leafgren, R. – Tang, T. – Messina, C.* (2014): Breeding drought tolerant maize hybrids for the US corn-belt: Discovery to product. *Journal of Experimental Botany* Vol. 65, No. 21, pp. 6191–6204, 2014 doi:10.1093/jxb/eru064
- De Souza, A.P. – Cocuron, J.C. – Garcia, A.C. – Alonso, A.P. – Buckeridge, M.S.* (2015): Changes in whole-plant metabolism during the grain-filling stage in sorghum grown under elevated CO₂ and drought. *Plant Physiol* 169(3):1755–1765.
<https://doi.org/10.1104/pp.15.01054>
- Crafurd, P.Q. – Peacock, J.M.* (1993): Effect of heat and drought stress on sorghum (*Sorghum bicolor*). II. Grain yield. *Exp Agric* 29(1):77–86.
<https://doi.org/10.1017/S0014479700020421>
- Da Silva, C.P. - de Oliveira, L.A. - Nuvunga, J.J. - Pamplona, A.K.A. - Balestre, M. A* (2015): Bayesian Shrinkage Approach for AMMI Models. *PloS ONE*, 10, e0131414.
- Das, I. K. - Kalyanram, N. - Kumar, S. - Patil, J. V.* (2020): Combining ability analysis for grain yield and its contributing characters in forage sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(5), 966-971.
- de Oliveira, L.A. - da Silva, C.P. - da Silva, A.Q. - Mendes, C.T.E. - Nuvunga, J.J. - Nunes, J.A.R. - Parrella, R.A.D.C. - Baleste, M. - Filho, J.S.D.S.B.* (2022): Bayesian GGE model for heteroscedastic multienvironmental trials. *Crop Sci.*, 62, 982–996.
- Dóka L.* (2015): Elterő évjáratok hatása a talaj vízháztartására mono- és bikultúrás kukoricaállományban, különböző állománysűrűségeknél. *Növénytermelés, Debrecen*, 64 (2) 5-28.
- Duncan, R. R. - Carrow, R. N.* (2009): Tall fescue and other fall-seeded grasses. In *Turfgrass Biology, Genetics, and Breeding* (pp. 85-120). Wiley-Blackwell.

- Edwards, G. E. - Franceschi, V. R. - Voznesenskaya, E. V.* (2004): Single- cell C4 photosynthesis versus the dual-cell (Kranz) paradigm. *Annal Revised Plant Biology*, 55: 173-196.
- Ejeta, G.* (2007): The breeding of sorghum. In *Handbook of Plant Breeding* (Vol. 1, pp. 229-258). Springer.
- El-Halof N. - Sárvári M.* (2005): A vetésidő és a tápanyagellátás hatása a kukorica termésbiztonságára. Letöltés dátuma: 2022.09.05. Letöltés helye: <https://docplayer.hu/9747177-A-vetesido-es-a-tapanyagellatas-hatasa-a-kukorica-termesbiztonsagara.html>
- Fadhli, N. – Farid, M. - Rafiuddin, Efendi R. – Azrai, M. – Anshori, M.F..* (2020): Multivariate analysis to determine secondary characters in selecting adaptive hybrid corn lines under drought stress. *Biodiversitas* 21:3617-3624. DOI: 10.13057/biodiv/d210826
- Farid, Musa Y, Nasaruddin, Ridwan I.* 2019a. Selection of various synthetic maize (*Zea mays*L.) genotypes on drought stress condition. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*235(1): 012027. [Indonesian]
- Fekete I.* (1969): Szántóföldi és kertészeti növények öntözése. Kézirat. Tankönyvkiadó, Budapest. 29.
- Fekete I. - Kotroczo Zs. - Varga, Cs. - Hargitai R. - Townsend K. - Csányi, G. -Várbiró, G.* (2012): Variability of Organic Matter Inputs Affects Soil Moisture and Soil Biological Parameters in a European Detritus Manipulation Experiment. *Ecosystems*. 15. 5: 792–803.
- Florescu, G.H. - Plesa L.* (1968): Fontosabb szántóföldi növények öntözése. *Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.* 9., 60.
- Funnell-Harris, D. L. - Pedersen, J. F.* (2009): Developing a low-lignin sorghum as a potential feedstock for cellulosic ethanol production. In *Advances in Agronomy* (Vol. 99, pp. 139-199). Academic Press.
- Gano, B. – Dembele, J.S.B. – Tovignan, T.K. – Sine, B. – Vadez, V. – Diouf, D. – Audebert, A.* (2021): Adaptation responses to early drought stress of West Africa sorghum varieties. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030443>
- Gyasi, E. A. - Addo-Quaye, A. A.* (2020): Effects of soil texture and moisture on the growth and yield of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) in a tropical savanna environment. *Agronomy*, 10(1), 83.
- Hannaway, D. B. - Cropper Jr, J. B.* (2001): Soil management considerations for sustainable production of sorghum in the Pacific Northwest. *Agronomy Journal*, 93(4), 744-751.
- Hamblin, M. T. - Casa, A. M. - Sun, H. - Murray, S. C. - Paterson, A. H. - Aquadro, C. F.* (2006): Challenges of detecting directional selection after a bottleneck: lessons from sorghum bicolor. *Genetics*, 173(2), 953-964.
- Hammad, S.A.R. - Ali O.A.M.* (2014): Physiological and biochemical studies on drought tolerance of wheat plants by application of amino acids and yeast extract. *Ann Agric Sci*59(1): 133-145.

- Hattori, T. – Inanaga, S. – Araki, H. – An, P. – Morita, S. – Luxova, M. – Lux, A. (2005): Application of silicon enhanced drought tolerance in Sorghum bicolor. *Physiol Plantarum* 123(4):459–466. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00481.x>
- House, L. R. (1985): A guide to sorghum breeding. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.
- Huzsvai L. - Nagy J. (2005): The effect of weather on maize yields and the efficiency of fertilization, *ACTA AGRONOMICA HUNGARICA: A Quarterly of the Hungarian Academy of Sciences: an international multidisciplinary journal in agricultural science* 53: (1) pp. 31-39.
- Jaetzold, R. - Schmidt, H. - Hornetz, B. - Shisanya, C. (2006). Farm Management Handbook of Kenya, Vol. II/C1. Management Handbook of Kenya, Vol. II/C1. Ministry of Agriculture, Kenya and German Agency Technical Cooperation team (CTZ).
- Jakab P. (2001): A műtrágyázás hatása a kukoricahibridek termőképességére és trágya reakciójára. *Agrártudományi Közlemények*. 42–46.
- Jongdee, B. - Fukai, S. - Cooper, M. (2002): Leaf water potential and osmotic adjustment as physiological traits to improve drought tolerance in rice. *Field Crop Res.* 76, 153–163. doi: 10.1016/S0378-4290(02)00036-9
- Kebede, H. – Subudhi, P.K. – Rosenow, D.T. – Nguyen, H.T. (2001): Quantitative trait loci influencing drought tolerance in grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Theor Appl Genet* 103:266–276.
- Kiss E. (2010): A kukoricatermesztés jelentősége és a biológiai alapok szerepe. (In: Pepó P. (szerk.) 2010. Termesztési tényezők a fenntartható növénytermesztésben.) Debrecen. 112-120.
- Kismányoky T. (2005): A globális klímaváltozás hatásai és válaszai Közép- és Dél-Dunántúl szántóföldi növénytermelésében. “AGRO-21” Füzetek. Klímaváltozás-hatások-válaszok. 2005. 41. 81.-94.
- Kholova, J. - Hammer, G.L. - Zsófi, Z. (2010): Yield and biomass component analysis in sweet sorghum grown for biofuel under different irrigation regimes. *Agrociencia* 44, 369-380.
- Kholova, J. - Hash, C. T. - Kumar, P. L. - Yadav, R. S. - Kočová, M. - Vadez, V. (2010): Terminal drought-tolerant pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] have high leaf ABA and limit transpiration at high vapour pressure deficit. *Journal of Experimental Botany*, 61(5), 1431-1440.
- Kholova, J. - McLean, G. - Vadez, V. - Craufurd, P. - Hammer, G. (2010). Drought stress characterization of post-rainy season (rabi) sorghum in India. *Field Crops Research*, 117(2-3), 251-260.
- Központi Statisztikai Hivatal adatbázisa (2021): 19.1.1.8. Magyarország földterülete művelési ágak szerint
Letöltés ideje: 2023.03.26.
Letöltés helye: https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0008.html
- Központi Statisztikai Hivatal adatbázisa (2021): Öntözés vármegye és régió szerint
Letöltés ideje: 2023.03.26.
Letöltés helye: https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0008.html

- Láng G. (1976): Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 142-146.
- Li, Y. - Wang, J. - Chen, L. - Li, Y. - Wang, Y. - Zhou, B. - Lu, S. (2021): Genome-wide association study reveals the genetic architecture of sorghum yield-related traits. *BMC plant biology*, 21(1), 1-13.
- Lin, C.S. - Binns, M.R.,- Lefkovich, L.P. (1986): Stability analysis: where do we stand?. *Crop Sci* 26: 894-900.
- M. Abraha - J. Chen - H. Chu - T. Zenone - R. John - Y.J. Su - S.K. Hamilton - G.P. Robertson (2015): Evapotranspiration of annual and perennial biofuel crops in a variable climate *Glob. Chang. Biol. Bioenergy*, 10.1111/gcbb.12239
- Mi N. - Cai F. - Zhang Y.S. - Ji R.P. - Zhang S.J. - Wang Y. (2018): Differential responses of maize yield to drought at vegetative and reproductive stages. *Plant Soil Environ.*, 64: 260–267.
- Molnár Zs. (2009a): A kukoricatermelés jelene. *Agrofórum Extra*. 32. 12-15.
- Negrão, S. - Schmöckel, S. M.- Tester, M. (2017): Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of Botany*, 119(1), 1-11.
- Németh T. (2006): Nitrogen in the soil-plant system, nitrogen balances. *Cereal Res. Commun.* 34. 1: 61-65.
- Ndlovu, E. - van Staden, J. – Maphosa, M. (2021): Morpho-physiological effects of moisture, heat and combined stresses on *Sorghum bicolor* [Moench (L.)] and its acclimation mechanisms. *Plant Stress*. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100018>
- Noein, B. - Soleymani, A. (2022): Corn (*Zea mays* L.) Physiology and Yield Affected by Plant Growth Regulators Under Drought Stress. *J Plant Growth Regul* 41, 672–681 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10332-3>
- Outtar, S. – Jones, R.J. – Crookston, R.K. – Kajeiuo, M. (1987): Effect of drought on water relations of developing maize kernels. *Crop Science*. 27. 730-735.
- Palkovits G. - Koltai G. (2004): A talaj vízgazdálkodása és a növényi produkció kapcsolata különös tekintettel a talajvíz szerepére. *Agro Napló*. 8. 5.
- Pepó P. (2006): Fejlesztési alternatívák a magyar kukoricatermesztésben. *Gyakorlati Agrofórum Extra*. 13. 7-11.
- Pepó P. - Vad A. - Berényi S. (2005): Agrotechnikai tényezők hatása a kukorica termésére monokultúrás termesztésben. *Növénytermelés*. 54. 4: 317–326.
- Pepó P. (2001): A genotípus és a vetésváltás szerepe a kukorica tápanyagellátásában csernozjom talajon. *Növénytermelés*. 50. 2-3: 189-202.
- Pepó P. (2010): A kukoricatermesztés fejlesztési lehetőségei. Forrás www.dekalb.hu
- Pepó P. - Sárvári M. (2013): Agrotechnikai változások. *Magyar Mezőgazdaság*. 68. 14:24-31.
- Prom-u-thai, C. - Geleta, M. - Laohasongkram, K. - Kanlayanarat, S. (2017): Genetic diversity of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] accessions as revealed by microsatellite markers and agro-morphological traits. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 64(6), 1253-1265.
- Radics L. (Szerk.) (1994): Szántóföldi növénytermesztéstan. KÉE Kertészeti Kar. Budapest.

- Ravi, D. - Nagesh, P. - Reddy, B. V. - Reddy, P. S. - Rao, P. S.* (2011): Drought tolerance mechanisms in grain sorghum genotypes. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 3(11), 222-229.
- Ray, R.L. - Fares, A. - Risch, E* (2018): Effects of drought on crop production and cropping areas in Texas. *Agric Environ Lett.* <https://doi.org/10.2134/ael2017.11.0037>
- Reddy, B. V. - Ramesh, S.* (2009): Potentials, achievements, and challenges in sorghum breeding. In *Handbook of New Technologies for Genetic Improvement of Legumes and Oilseeds* (pp. 241-270). CRC Press.
- Reddy, B. V. - Ramesh, S. - Singh, S. D.* (2015): Molecular breeding for improvement of drought tolerance in sorghum. In *Advances in Molecular Breeding Toward Drought and Salt Tolerant Crops* (pp. 307-334). Springer.
- Reddy, B. V. S. - Ashok Kumar, A. - Ramesh, S.* (2019): Sorghum yield advances: trends, achievements, and challenges. *Plant Breeding*, 138(4), 373-386.
- Rooney, W. L. - Aydin, S.* (2005): Genetic control of flowering time in sorghum. *Crop Science*, 45(1), 327-335.
- Rooney, W.L. - Blumenthal, J.* (2009): Sorghum. *Handbook of Energy Crops*, J. H. Martin and B. A. Bailey (eds.). Retrieved from https://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Sorghum_bicolor.html.
- Ruzsányi L.* (1996): Aszály hatása és enyhítésének lehetőségei a növénytermesztésben. [In: Cselőtei L.–Harnos Zs. (szerk.) Éghajlat, időjárás, aszály.] Akaprint Nyomda - ipari Kft. Budapest. 5–66.
- Ruzsányi L.* (1987): Agrotechnika a kukoricatermesztésben. *Magyar Mezőgazdaság* 42. 18. 8-9.
- Sabadin, P.K. – Malosetti, M. – Boer, M.P. – Tardin, F.D. – Santos, F.G. – Guimaraes, C.T. – Gomide, R.L. – Andrade, C.L.T. – Albuquerque, .P.E.P. – Caniato, F.F. – Mollinari, M.- Margarido, G.R.A.- Oliveira, B.F. – Schaffert, R.E. – Garcia, A.A.F. - van Eeuwijk, F.A. – Magalhaes, J.V.* (2012): Studying the genetic basis of drought tolerance in sorghum by managed stress trials and adjustments for phenological and plant height differences. *Theor Appl Genet* 124(8):1389–1402. <https://doi.org/10.1007/s00122-012-1795-9>
- Slafer, G.A. - Andrade, F.H.* (1993): Physiological attributes related to the generation of grain yield in sorghum: a review. *Field Crops Research* 31, 99-137.
- Sah, R.P. – Chakraborty, M. – Prasad, K.- Pandit, M. – Tudu, V.K. – Chakravarty, M.K. – Narayan, S.C. – Rana, M. – Moharana, D.* (2020): Impact of water deficit stress in maize: Phenology and yield components. *Sci Rep* 10: 2944. doi.org/10.1038/s41598-020-59689-7.
- Sanjari, S. – Shobbar, Zs. – Ghanati, F.- Afshari-Behbahanzadeh, S. – Farajpour, M.- Jokar, M.- Khazaei, A.- Shahbazi, M.* (2021): Molecular, chemical, and physiological analyses of sorghum leaf wax under post-flowering drought stress. *Plant Physiol Biochem.* 2021 Feb;159:383-391. [doi: 10.1016/j.plaphy.2021.01.001](https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.01.001).
- Sarshad, A.- Talei, D.- Torabi, M.- Rafiei, F.- Nejatkhah, P.* (2021): Morphological and biochemical responses of *Sorghum bicolor* (L.) Moench under drought stress. *SN Appl Sci.* <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03977-4>

- Sárvári M. - Ábrahám É. B. - Pálovics B. (2006): A biológiai alapok jelentősége a kukoricatermesztésben. Gyakorlati Agroforum. 17. 3: 45-47.
- Sárvári M. - Boros B. (2009): A vetésváltás és az NPK tápanyagellátás hatása a kukorica termésére tartamkísérletben. (In: Berzsei Z. és Árendás T. (szerk.) 2009. Tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés fejlesztésében.) Martonvásár. 139-145.
- Sárvári M. (2003): A tőszám hatása a kukorica termésére és minőségére. Gyakorlati Agroforum Extra, 2:25-28.
- Sárvári M. (2011): Egyéb alternatív Gabonanövények termesztése. dtk.tankönyvtár.hu, 52-62.
- Letöltés ideje: 2023.03.26.
- Letöltés helye:
https://dtk.tankonyvtar.hu/bitstream/handle/123456789/7384/0010_1A_Book_adaptalt_02_egyeb_gabonanoventek_termesztese.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sehgal, A.- Sita, K.- Siddique, K.H.M.- Kumar, R.- Bhogireddy, S., Varshney, R.K. - HanumanthaRao, B. – Nair, R.M. – Prasad, P.V.V. – Nayyar, H. (2018): Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality. *Front Plant Sci* 9:1705. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01705>
- Singh, S. D. - Navi, S. S. (2005): Breeding Sorghum for Diverse Rainfed Environments. *Crop Science*, 45(6), 2393-2403. Singh, V.,
- Singh, S. P. - Kumar, V. - Singh, P. K. - Kumar, U. (2018). Improvement in Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] Yield and Yield Components through Marker-Assisted Backcrossing. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 88(5), 732-738.
- Srinivasan, G. - Satyanarayana, T. (2014): Sorghum: A multipurpose crop for climate-smart agriculture. In *Climate Change and Agricultural Ecosystems* (pp. 179-198). Springer.
- Stekauerová, V. - Nagy, V. (2006): Course of soil layer water content in agricultural cultivated soil during years 1999 and 2000. *Cereal Res. Commun.* 34. 1: 287–290.
- Széll E. - Makra M. (2013): A legfontosabb termesztési tényezők hatása a kukorica termésére a 2007-2012. években. *Agroform Extra* 24. 52: 42-49.
- Tadesse, T. - Mohammed, H. - Nigussie, A. (2018): Effects of Soil Nutrients on Growth, Yield, and Yield Components of Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in South Tigray, Ethiopia. *Advances in Agriculture*, 2018, 1-10.
- Tao, Y. - Mace, E. S. - Tai, S. - Cruickshank, A. - Campbell, B. C. - Zhao, X. (2017): Whole-genome analysis of candidate genes associated with seed size and weight in sorghum bicolor reveals signatures of artificial selection and insights into parallel domestication in cereal crops. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1237.
- van Oosterom, E.J. - Bidinger, F.R. - Weltzien, E.R. (2003): The importance of stay-green in relation to yield of irrigated wheat and forage sorghum in a tropical environment. *Australian Journal of Agricultural Research* 54, 377-390.
- Vágó, K. - Dobó, E. - Kumar Singh, M. (2006): Predicting the biogeochemical phenomenon of drought and climate variability. *Cereal Res. Commun.* 34. 1: 93–97

VSN Murthy, K. Srinivas, and T. Ram. (2014). Influence of Soil Texture on Growth and Yield of Sorghum under Rainfed Conditions. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 84(4), 492-495.

Waraich, E.A. – Ahmad, R. - Saifullah, Ashraf M.Y. - Ehsanullah (2011): Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. *Aust J Crop Sci* 5: 764-777

Wasaya, A. - Zhang, X. - Fang, Q. - Yan, Z. (2018): Root Phenotyping for Drought Tolerance: A Review. *Agronomy* 2018, 8, 241.

<https://doi.org/10.3390/agronomy8110241>

Wu, Y. - Yuan, Y. - Zhang, Y. - Liu, H. - Wang, J. - Wan, H. (2019): Genetic dissection of grain size and weight in sorghum (*Sorghum bicolor* L.) using a genome-wide association study. *Genes*, 10(11), 909.

Yan, W. - Hunt, L.A. - Sheng, Q. - Szlavnics, Z. (2000): Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 40, 597–605.

Yosef, G. - Tekalign, T. - Alemayehu, B. (2019): Effects of lime and phosphorus on growth and yield of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) on an acid soil of Chilga District, northwestern Ethiopia. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), 1582236.

Zamani, A. - Vahtera, V. - Sääksjärvi, I.E. – Scherz, M.D. (2020): The omission of critical data in the pursuit of “revolutionary” methods to accelerate the description of species. *Systematic Entomology* 46: 1–4. 10.1111/syen.12444

Zobel, R.W. - Wright, M.J. - Gauch, H.G., Jr. (1988): Statistical analysis of a yield trial. *Agron. J.* 80, 388–393.

A szerzők levélcíme - Adress of the authors

Szemerits Balázs

Széchenyi István Egyetem

Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar,

9200-Mosonmagyaróvár Vár tér 2.

E-mail: szemeritsbalazs66@gmail.com

Kukorelli Gábor

Széchenyi István Egyetem

Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar,

9200-Mosonmagyaróvár Vár tér 2.

HUN-REN-SZE PhatoPlant-Lab Kutatócsoport

1052 Budapest, Piarista utca 4.

E-mail: kukorelli.gabor@sze.hu

Molnár Zoltán
Széchenyi István Egyetem
Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar,
9200-Mosonmagyaróvár Vár tér 2.
HUN-REN-SZE PhatoPlant-Lab Kutatócsoport
1052 Budapest, Piarista utca 4.
E-mail: molnar.zoltan@sze.hu