



## MOSONMAGYARÓVÁRI KUKORICA FENOLÓGIAI VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI ÉGHAJLATVÁLTOZÁS IDEJÉN

VARGA ZOLTÁN

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

### ÖSSZEFOGLALÁS

Mosonmagyaróvár térségében végzett párhuzamos meteorológiai és kukorica fenológiai adatgyűjtési programunk 1997-ben kezdődött és napjainkban is tart. Ez az időszak jól egybeesik azzal az 1991-2020 közötti 30 évvel, melynek adatai alapján egy terület aktuális éghajlata jellemezhető. A fenológiai vizsgálatok viszonylag egyszerű és pontos módját jelentik az éghajlatváltozás regionális alakulása és hatásai tanulmányozásának. A középkorai- és középérésű kukorica hibridekre fókuszáló, s így a hazai termesztési helyzetet hitelesen leképező vizsgálatainkban ezért számszerűsítettük a növények fejlődését, az egyes fenológiai szakaszok (vetés-kelés, kelés-címerhányás, címerhányás-érés) alatti meteorológiai viszonyok alakulását, illetve az éghajlati elemek és a kukorica fejlődése közötti összefüggéseket. Elemeztük az éréscsoportok közötti fenológiai eltéréseket is. Eredményeinket a Mosoni-síkra és a Szigetközre egyaránt reprezentatívnak tekinthetjük.

**Kulcsszavak:** éghajlatváltozás, mezőgazdaság, kukorica, fenológia, éghajlati elemek

### BEVEZETÉS ÉS IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az éghajlatváltozás egyre fokozódó jelentősége és globális társadalmi hatásai immáron megkérdőjelezhetetlenek (IPCC 2014). Ezért alapvető fontosságú a múltbeli és a jelenleg folyamatban lévő klimatikus folyamatok minél jobb megértése, a nélkül ugyanis

elképzelhetetlen a jelenlegi emberi tevékenység fenntartása (*Makra et al.* 2002). Ugyanakkor, míg az éghajlatváltozás globális trendjei immár évtizedek óta folyamatosan és viszonylag részletesen tanulmányozottak, s általánosan elfogadottak azoknak a legvalószínűbb környezeti alrendszerekre gyakorolt feltételezett hatásai (*Cook et al.* 2016), kevés az olyan vizsgálat, mely szűkebb régiókra vonatkozik és a mezőgazdaság specifikus szempontjait veszi figyelembe (*Wheeler és Lobley* 2021). Az ilyen vizsgálatok jelentősége abban áll, hogy a jelenleg is tartó globális éghajlatváltozás térben és időben nem egységesen zajlik le, azaz helyileg az általános trendektől akár jelentősen eltérő változások is előfordulhatnak (*IPCC* 2014). A leggyakrabban használt klímaszcenáriók szerint hazánk fokozottan érzékeny az éghajlati rendszer megváltozásának hatásaira (*Kocsis és Anda* 2010).

A mezőgazdasági tevékenység kiemelten kitett a klimatikus hatásoknak, így az azokhoz való alkalmazkodás a mezőgazdaság egyik legnagyobb kihívása a 21. században. A várható hatások közül kiemelhető a termésveszteség, a talaj leromlása, a vízkészletek csökkenő hozzáférhetősége, a romló termelékenységi mutatók, valamint a növekvő termelési költségek (*Alam et al.* 2012, *Rey et al.* 2016). Az alkalmazkodás kiterjedhet a fajták jobb megválasztására, a vetésidő módosítására, a vízhasználat javítását és a talajvédelem fokozását segítő technológiák bevezetésére vagy akár a talajhasználat megváltoztatására (*Zheng et al.* 2014). A mezőgazdaság klímához való hatékony alkalmazkodásához viszont a jelenleginél lényegesen részletesebb és közvetlen információra van szükség (*Pieczka et al.* 2017). A helyi szintű pontos és releváns információk nyilvánvaló előnyt jelenthetnek a helyi gazdálkodók számára (*Dióssy* 2008).

A fenológia - a Nemzetközi Biológiai Program (International Biological Program – IBP) keretében megalkotott, általánosan használt definíciója szerint - az ismétlődő biológiai események időbeli alakulásának, az azok időbeliségét okozó biotikus és abiotikus kényszerek törvényszerűségeinek és az azonos vagy eltérő fajok fázisai közötti összefüggéseknek a tanulmányozása (*Lieth* 1974). Ez a meghatározás jól indokolja az agrometeorológiai vizsgálatok fontosságát és aktualitását, valamint érzékelteti a Mosonmagyaróváron 1997-ben megkezdett agrometeorológiai kísérletsorozat eredményeinek lehetséges felhasználási területeit.

A párhuzamos meteorológiai és fenológiai adatgyűjtés fontossága a XX. század eleje óta ismert, amikor Brounov az agrometeorológia alapelveként definiálta ennek szükségességét a kvantitatív vizsgálatok megalapozásához (*Varga-Haszonits és Varga*

2006a). Miközben az ilyen jellegű kutatások jelentősége és felhasználhatósága folyamatosan növekedni látszik, igazán hosszú, a pár évet meghaladó tartamú agrometeorológiai kísérletsorozatokkal csak ritkán lehet találkozni a szakirodalomban. Ráadásul a rendelkezésre álló, az éghajlati rendszer változásának hatását elemző hosszabb adatsorokat felhasználó fenológiai vizsgálatok általában vadon termő növényekre irányulnak, s az irodalomban lényegesen ritkábban lehet gazdasági növényekre fókuszáló, ilyen jellegű kutatásokkal találkozni. A hosszú, párhuzamos meteorológiai és fenológiai adatsorok iránti fokozódó igényt a napjainkban egyértelműen az érdeklődés középpontjába került éghajlatváltozás alakulásának és hatásainak tanulmányozása (*Rosenzweig et al. 2007, Aono és Kazui 2008*), valamint a kissé háttérbe szorult, de legalább ugyanilyen fontos éghajlati változékonysággal kapcsolatos elemzések indokolják. Továbbá az egyre nagyobb teret nyerő, s mind kidolgozottabb mezőgazdasági döntéstámogató rendszerek által igényelt, kvantifikált alapokon nyugvó információ előállítása szempontjából is szükségesek a hosszú agrometeorológiai kísérletsorozatok.

A kukorica tesztnövényként való használata több szempontból is indokoltnak látszott. Fő takarmánynövényünk kiemelkedő nemzetközi és hazai termesztési jelentősége éppúgy indokolják ezt, mint a fajon belüli alakgazdagsága (a nagyon különböző éréscsoportok megléte) és nagyfokú alkalmazkodóképessége.

Mindezen megfontolások alapján azt a célt tűztük ki, hogy hosszú kukorica fenológiai adatsoraink részletes, agroklimatológiai szemléletű elemzésével segítsük a Mosoni-sík és a Szigetköz mezőgazdasági termelőinek eredményesebb alkalmazkodását a környezeti rendszer jelenlegi állapotához és várható jövőbeli változásaihoz.

## **ANYAG ÉS MÓDSZER**

A mosonmagyaróvári Agroklimatológiai Kutatócsoport tevékenysége keretében elindított szántóföldi kísérletsorozatunk helyszínül a jelenlegi Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Karának mosonmagyaróvári növénytermesztési kísérleti telepét választottuk. A hazánkban termesztett kukorica hibridválaszték általában több mint 80 %-ban a középkorai- (FAO 300-399) és a középérésű (FAO 400-499) éréscsoportokból kerül ki, ezért a vizsgálatba bevont növényállományokat is ezekből választottuk. A párhuzamosan mért meteorológiai adatok az Országos Meteorológiai

Szolgálat és a mosonmagyaróvári kar által közösen üzemeltetett hivatalos meteorológiai állomásról származtak. A kukorica állományok évről-évre a meteorológiai adatgyűjtés pár km<sup>2</sup>-es körzetében voltak megtalálhatók, s az ilyenkor megkövetelt reprezentativitás biztosított volt. A párhuzamos fenológiai és meteorológiai adatgyűjtés 1997-ben kezdődött, s egy 2014-2016 közötti kényszerű szünettől eltekintve napjainkig tart. A középkorai éréscsoport esetén egy évvel később indultak a vizsgálatok.

A kukoricatermesztést jellemző rendkívül gyors fajtarotáció miatt nem tudtuk végig ugyanazokat a hibrideket használni kísérleteink során, de az fontos szempont volt az éréscsoportokat reprezentáló növények megválasztásánál, hogy az egymást váltó hibridek érésideje (FAO száma) ne térjen el lényegesen. A mezőgazdasági kultúrnövények fenológiai vizsgálatakor ugyanis fontos annak tisztázása, hogy a fajták közötti különbségek mekkora szerepet játszanak a fenológiai jelenségek eltérő időpontjaiban. Ha ezek a különbségek nagyok, akkor az egyes fajtákat külön kell vizsgálni; ha viszont nem jelentősek az eltérések, akkor ettől eltekinthetünk, s általánosságban az adott faj (vagy esetünkben éréscsoport) fenológiai eseményeiről beszélhetünk (*Szakály* 1963, 1972). A hibridek megválasztásával ez utóbbira törekedtünk. Az általunk alkalmazott hibridek az alábbiak voltak a most elemzett kísérleti időszakban. Középkorai érésűek (FAO 300-as éréscsoport): 1998-2004: Asgrow 043, 2005: Cisco, 2006-2011: LG-3362, 2012-2013: LG-3350, 2017: Chapalu, 2018-2019: Zephir, 2020: Replik, 2021: Limanova. Középerésűek (FAO 400-as éréscsoport): 1997-1999: Mv-444, 2000: Dekalb545, 2001-2004: Dekalb471, 2005: Occitan, 2006-2013: LG-3475, 2017: Initio, 2018: Inclusiv, 2019 és 2021: DKC4351, 2020: SY Octeon.

Az általunk gyűjtött fenológiai adatok a növények fejlődését, növekedését és produktivitását számszerűsítették. Úgy találtuk, hogy a fenológiai adatsorok fent említett homogenitási kritériuma legjobban a növényfejlődésre vonatkozó adatok esetén teljesült, így jelen vizsgálatainkban a fenológiai jelenségek bekövetkezési időpontját, a fejlődési szakaszok hosszát és az adott szakaszokra jellemző átlagos napi fejlődési ütemet használtuk.

A kukorica vegetációs periódusát a kezdeti fejlődés (a vetéstől a kelésig terjedő időintervallum), a vegetatív fejlődés (a keléstől a címerhányásig terjedő periódus) és a generatív fejlődés (a címerhányástól az érésig terjedő periódus) időszakára felosztva végeztük az adatgyűjtést és az adatok elemzését. Említést érdemel, hogy ismeretesek a kukorica vegetációs periódusának az itt használnál lényegesen részletesebb felosztásai is

(Zadoks skála - *Zadoks et al.* 1974; BBCH-skála - *Weber és Bleiholder* 1990, *Lancashire et al.* 1991), de esetünkben – mint ahogyan az ilyen jellegű vizsgálatok esetében általában - nem látszott indokoltnak azok használata.

A fenológiai adatokhoz az Országos Meteorológiai Szolgálat és a Széchenyi István Egyetem által közösen működtetett mosonmagyaróvári meteorológiai főállomás következő mért és számított meteorológiai értékeit társítottuk: átlagos léghőmérséklet ( $^{\circ}\text{C}$ ), napi minimumhőmérsékletek átlaga ( $^{\circ}\text{C}$ ), napi maximumhőmérsékletek átlaga ( $^{\circ}\text{C}$ ), átlagos talajhőmérséklet 5, 10, 20, 50 és 100 cm-es mélységben ( $^{\circ}\text{C}$ ), napfénytartam összeg (óra), átlagos relatív nedvesség (%), csapadékösszeg (mm), párologtatóképesség összege (mm, *Varga-Haszonits és Varga* (2006b) által leírt módon kalkulálva), ariditási index (a párologtatóképesség összeg és a csapadékösszeg hányadosaként számítva) és fototemikus index (az átlaghőmérséklet és a napfénytartam összeg hányadosaként meghatározva).

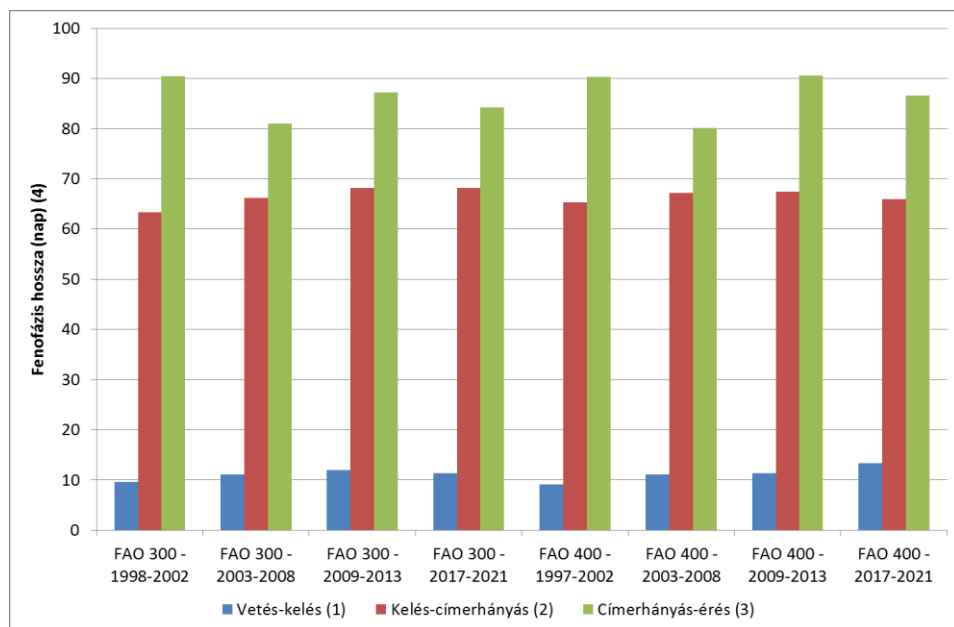
Az adatbázis kialakítását követően *Sváb* (1981) által leírt egyszerű statisztikai módszerek segítségével elemeztük az alapvető mosonmagyaróvári fenológiai jellemzők, illetve az egyes fenológiai szakaszok alatti meteorológiai viszonyok időbeli alakulását, melyek az egész a Mosoni-síkra reprezentatívnak tekinthetők. Az adatsorokat nagyjából egyenlő, öt-hat éves időszakokra osztva vizsgáltuk az azokat jellemző átlagokat, szórásokat, illetve azok időbeli alakulásának törvényszerűségeit és a változások szignifikanciáját (kétmintás t-próbával). Elemeztük továbbá a fenofázisok alatti meteorológiai viszonyoknak a középkorai- és középerésű kukoricahibridek fejlődésére gyakorolt hatását – döntően lineáris regresszió analízissel. A statisztikai vizsgálatokat *Microsoft Excel 2010* szoftver segítségével végeztük. Pragmatikus okokból és a terjedelmi szempontokat is szem előtt tartva az elvégzett statisztikai vizsgálatok részletesebb bemutatására nem térünk ki az eredmények ismertetésénél.

## EREDMÉNYEK

Mint említettük, a kukorica fenológiai jellemzőinek vizsgálatakor az 1990-es évek végétől napjainkig tartó időintervallumot hozzávetőlegesen egyenlő szakaszokra bontva elemeztük a 3. évezred elején tapasztalható tendenciákat. A kezdeti fejlődés általában a tenyészidőszak teljes időtartamának 6-8 %-át tette ki, a vegetatív szakasz 39-42 %-át, míg a generatív fejlődés kicsit több mint a felét, 51-55 %-át. Ez a megoszlás – némi

ingadozással, de szignifikáns eltérések nélkül - mindkét éréscsoport valamennyi vizsgált időszakára jellemző volt, s jó egyezést mutatott a korábbi évtizedekre vonatkozó országos vizsgálataink (Varga-Haszonits és Varga 1998) eredményeivel.

Az egyes fenofázisok relatív hossza mellett a fázistartamok tényleges hosszára irányuló elemzéseink eredményei (1. ábra) is azt bizonyítják, hogy az egyes éréscsoportok között, illetve a különböző időszakokban nem volt szignifikáns eltérés.



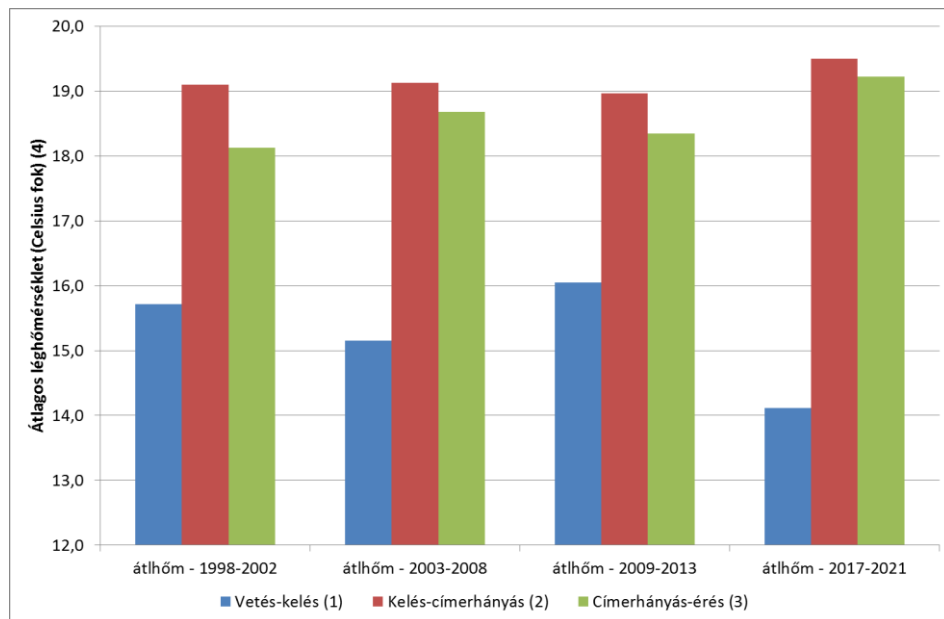
1. ábra. Kukoricahibridek átlagos fázistartamai

Figure 1. Average phenophase durations of maize hybrids

(1) Sowing-emergence; (2) Emergence-anthesis; (3) Anthesis-ripening; (4) Phenophase durations (days)

Az egyes fenofázisokat jellemző meteorológiai viszonyok alakulásáról, melyeket hasonló módszerekkel elemeztünk, először is az mondható el, hogy a kezdeti fejlődés időszakától eltekintve érzékelhető egy - egyelőre általában még nem vagy csak gyengébben szignifikáns - melegedési folyamat az utóbbi két évtizedben mindkét éréscsoport esetén (2-3. ábra). Említést érdemel, hogy az itt bemutatott, az átlagos léghőmérsékletekre vonatkozó tendenciákkal megegyezőket tapasztaltunk a többi talaj- és léghőmérsékleti elem esetében is. Azt is fontos megjegyezni, hogy az 1951-1990-es időszakra vonatkozó, hasonló jellegű eredményekhez (Varga 1999) képest statisztikailag is igazolható a

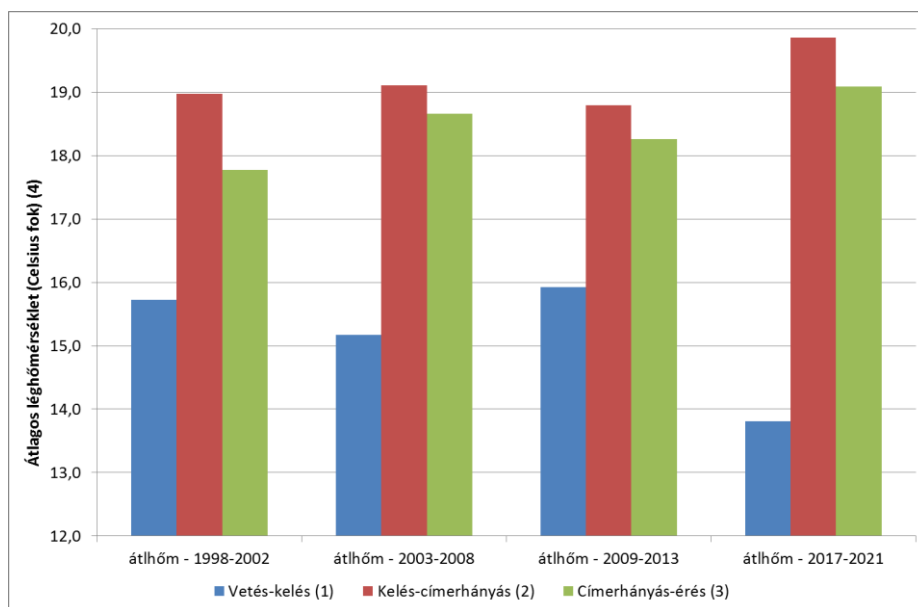
kukorica tenyésztésidőszaka léghőmérsékleti viszonyainak szignifikáns megváltozása a középkorai és középerésű hibridek esetén egyaránt.



2. ábra. Középkorai érésű kukoricahibridek fenológiai szakaszai alatti léghőmérsékleti viszonyok alakulása

Figure 2. Average air temperature conditions during the phenological stages of maize hybrids (mid-early maturity group)

(1) Sowing-emergence; (2) Emergence-anthesis; (3) Anthesis-ripening; (4) Average air temperature (degrees Celsius)



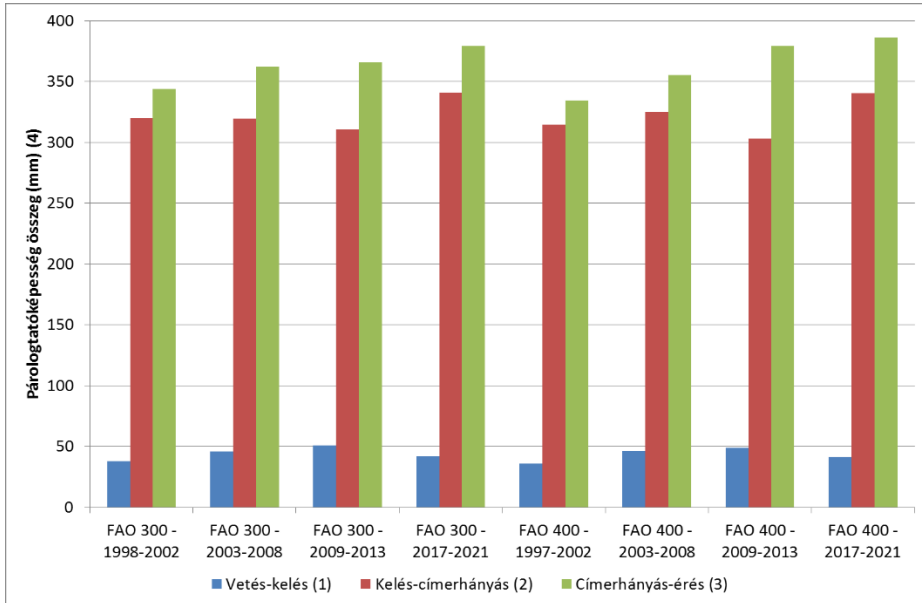
3. ábra. Középérésű kukoricahibridek fenológiai szakaszai alatti  
léghőmérsékleti viszonyok alakulása

*Figure 3. Average air temperature conditions during the phenological stages of  
maize hybrids (middle maturity group)*

*(1) Sowing-emergence; (2) Emergence-anthesis; (3) Anthesis-ripening; (4) Average air temperature (degrees Celsius)*

Hasonló irányú, de nagyobb mértékben szignifikáns változások figyelhetők meg az alapvetően termikus elemek által meghatározott párologtatóképesség alakulását illetően (4. ábra) az utóbbi évtizedekben, melyek különösen a címerhányás-érés időszakban növelték meg fő takarmánynövényünk vízmérlegének kiadási oldalát. Az 1951-1990-es évek átlagához (Varga 1999) viszonyítva még szembetűnőbb ez a termesztési kockázatot jelentősen fokozó klimatikus átrendeződés.



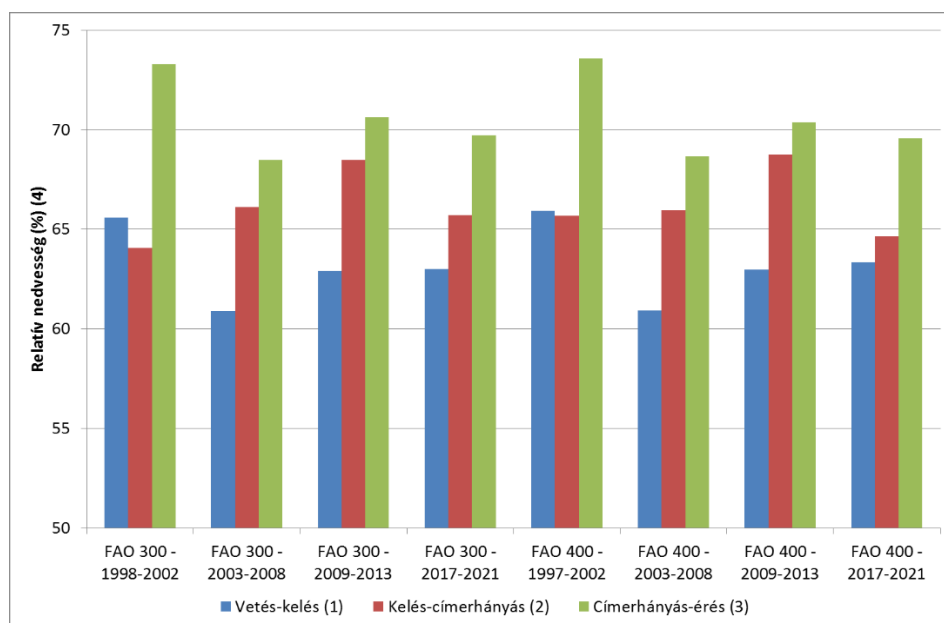


4. ábra. Kukoricahibridek fázisstartamai alatti átlagos párologtatóképesség összegek

Figure 4. Average potential evaporation amounts during the phase durations of maize hybrids

(1) Sowing-emergence; (2) Emergence-anthesis; (3) Anthesis-ripening; (4) Potential evaporation amount (mm)

A relatív nedvesség értékeinek vizsgálatakor a hőmérsékleti elemeknél tapasztalható hasonló mértékű, de azzal ellentétes irányú változásokat tapasztaltunk (5. ábra), melyek szintén a növényfejlődés generatív szakaszában jelentkeztek a legkifejezettebben. Ezen meteorológiai elemnél is megállapítható, hogy az utóbbi nagyjából két évtized változásai tovább erősítik a 20. század második felében tapasztalt (Varga 1999) klimatikus tendenciákat. A levegő telítettségi hiányának fokozódása egyébként logikusan következik a léghőmérséklet emelkedéséből, mely a levegő párabefogadó képességének növelése által járul hozzá a relatív nedvességi értékek csökkenéséhez, s ez végső soron szintén az aszálykockázat fokozódását eredményezi.



5. ábra. Kukoricahibridek fázisstartamai alatti átlagos relatív nedvesség értékek

Figure 5. Average relative humidity values during the phase durations of maize hybrids

(1) Sowing-emergence; (2) Emergence-anthesis; (3) Anthesis-ripening; (4) Relative humidity (%)

Az 1-2. táblázatok a meteorológiai elemeknek a növényfejlődésre gyakorolt hatását foglalják össze a két éréscsoportra és a teljes vizsgálati időszakra kiterjedően oly módon, hogy az egyes fejlődési szakaszok alatti lineáris összefüggés vizsgálatok korrelációs koefficiens értékeit mutatják be a kapcsolatok szorosságát kifejező szignifikancia szinteket is megjelenítve. A két éréscsoport között általában ebben a vonatkozásban sem találtunk jelentős különbségeket, bár a generatív szakasz talajhőmérsékleti viszonyai a középérésű hibridek fejlődését erősebben befolyásolták, mint a középkorai hibridekét. Kiemelhető még, hogy a meteorológiai viszonyok fejlődést befolyásoló szerepe a vegetatív szakaszban többnyire csökkent a többi fenofázishoz képest.

A meteorológiai elemek vonatkozásában a hőmérsékleti elemeknek a kezdeti fejlődés során a 300-as FAO-számú éréscsoport fejlődésére gyakorolt jelentős hatása érdemel említést, de ennél is jelentősebb a napfénytartam, valamint az egységnyi napfénytartamra eső átlaghőmérséklet változás, azaz a közös hőmérsékleti és sugárzási hatást kifejező fototermikus index minden fejlődési szakaszban erősen szignifikáns kapcsolata a

fejlődéssel mindkét éréscsoport esetén. Szintén ki kell emelnünk a döntően termikus elemek alakulása által meghatározott párologtatóképesség hasonlóan meghatározó befolyását a két éréscsoport hibridjeinek kezdeti fejlődésére. Ettől eltekintve a higrikus elemek hatása jelentősen elmarad a termikus elemekétől. Ezek a megállapításaink alapvetően összecsengenek az 1960-1985 közötti adatokat feldolgozó, hasonló jellegű korábbi vizsgálatok eredményeivel (*Varga-Haszonits és Varga 1998*).

A meteorológiai elemek és a kukorica fejlődése közötti kapcsolatot oly módon is számszerűsítettük, hogy a három fejlődési szakaszra vonatkozó adatokat egyesítettük. Az ezekre vonatkozó  $r$  értékek is megjelennek az *1-2. táblázatokban*, s látható, hogy ilyen esetekben – az ariditási index kivételével – a legmagasabb szinten szignifikáns kapcsolatok mutathatók ki.

*1. táblázat.* Meteorológiai elemek hatása a középkorai érésű kukorica hibridek fázisstartamára és fejlődési ütemére - lineáris regresszióanalízis korrelációs koefficiens értékei

*Table 1.* Effect of meteorological elements on the phase duration and development rate of maize hybrids (mid-early maturity group) - values of the correlation coefficient of linear regression analysis

FAO300	Fázisstartamra gyakorolt hatás (1)				Fejlődési ütemre gyakorolt hatás (2)			
	Vetés-kelés (3)	Kelés-c.hányás (4)	Cimerhányás-érés (5)	Együttesen (6)	Vetés-kelés	Kelés-c.hányás	Cimerhányás-érés	Együttesen
Talajhőmérséklet 5cm (7)	0,4927	0,2729	0,2532	0,6106	0,4088	0,2604	0,2470	0,5504
Talajhőmérséklet 10cm (8)	0,5235	0,3108	0,2494	0,6496	0,4628	0,3045	0,2454	0,5700
Talajhőmérséklet 20cm (9)	0,4782	0,2581	0,2345	0,7339	0,4452	0,2528	0,2261	0,6454
Talajhőmérséklet 50cm (10)	0,3612	0,4327	0,3002	0,8576	0,3547	0,4350	0,2739	0,7554
Talajhőmérséklet 100cm (11)	0,2012	0,2948	0,4122	0,9287	0,2232	0,3010	0,4037	0,8091
Minimumhőmérséklet (12)	0,3731	0,1241	0,0387	0,7940	0,3071	0,1334	0,0045	0,7093
Maximumhőmérséklet (13)	0,5273	0,0141	0,0028	0,6051	0,4284	0,0089	0,0100	0,4999
Átlaghőmérséklet (14)	0,5340	0,1466	0,0077	0,6758	0,4339	0,1552	0,0077	0,5831
Napfénytartam (15)	0,6557	0,5638	0,6719	0,9709	0,6260	0,5576	0,6697	0,9045
Fototermikus index (16)	0,8199	0,7577	0,7910	0,8686	0,8308	0,7626	0,7846	0,9642
Relatív nedvesség (17)	0,2676	0,1044	0,0800	0,4684	0,2218	0,1100	0,0768	0,4378
Csapadék (18)	0,3700	0,0412	0,1158	0,8206	0,3863	0,0332	0,1483	0,7484
Párolgatóképeség (19)	0,5662	0,5389	0,3834	0,9700	0,6218	0,5359	0,3899	0,8774
Ariditási index (20)	0,2433	0,0447	0,1463	0,2771	0,1905	0,0500	0,1860	0,2722

(1) Impact on phanophase duration; (2) Impact on development rate; (3) Sowing-emergence; (4) Emergence-anthesis; (5) Anthesis-ripening; (6)-(11) Average temperature of different soil layers (degrees Celsius); (12) Minimum air temperature (degrees Celsius); (13) Maximum air temperature (degrees Celsius); (14) Average air temperature (degrees Celsius); (15) Sunshine duration (hours); (16) Photothermal index; (17); Relative humidity (%); (18) Precipitation amount (mm); (19) Potential evaporation amount (mm); (20) Aridity index

Szignifikancia szint jelölése

Indication of significance level

NS
10
5
2
1
0,1

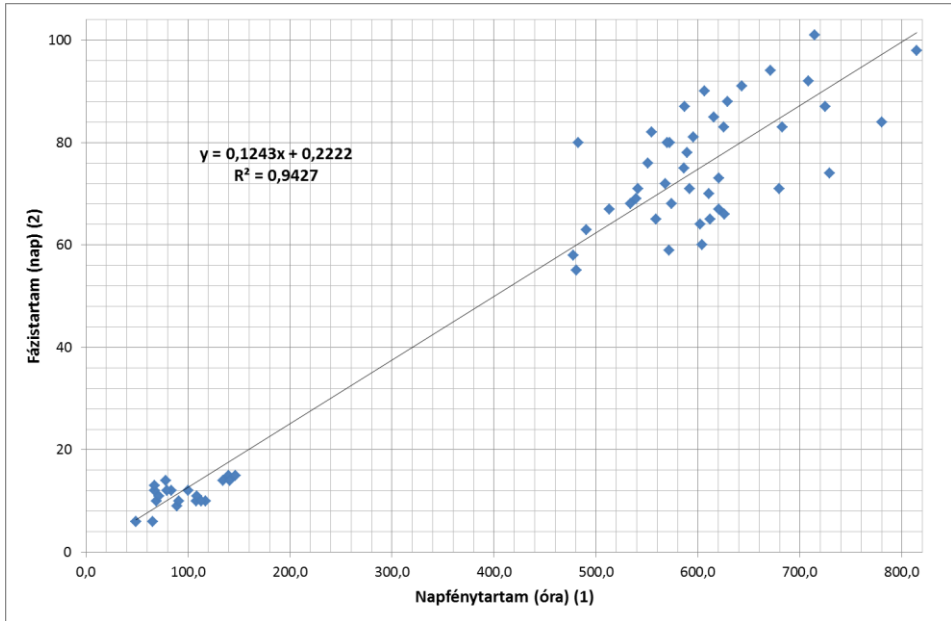
2. táblázat. Meteorológiai elemek hatása a középerésű kukorica hibridek fázisstartamára és fejlődési ütemére - lineáris regresszióanalízis korrelációs koefficiens értékei

Table 2. Effect of meteorological elements on the phase duration and development rate of maize hybrids (middle maturity group) - values of the correlation coefficient of linear regression analysis

FAO400	Fázisstartamra gyakorolt hatás (1)				Fejlődési ütemre gyakorolt hatás (2)			
	Vetés-kelés (3)	Kelés-c.hányás (4)	Cimerhányás-érés (5)	Együttesen (6)	Vetés-kelés	Kelés-c.hányás	Cimerhányás-érés	Együttesen
Talajhőmérséklet 5cm (7)	0,2850	0,3435	0,6049	0,5666	0,1476	0,3409	0,6027	0,5504
Talajhőmérséklet 10cm (8)	0,2980	0,3561	0,6007	0,6049	0,1884	0,3514	0,6002	0,5662
Talajhőmérséklet 20cm (9)	0,2534	0,2983	0,5803	0,6946	0,1628	0,2943	0,5731	0,6366
Talajhőmérséklet 50cm (10)	0,1603	0,4624	0,5907	0,8202	0,0943	0,4654	0,5647	0,7303
Talajhőmérséklet 100cm (11)	0,0045	0,4982	0,5888	0,9079	0,0245	0,5015	0,5765	0,7748
Minimumhőmérséklet (12)	0,0557	0,4426	0,4062	0,7353	0,0100	0,4682	0,3736	0,6983
Maximumhőmérséklet (13)	0,4312	0,3583	0,2751	0,5396	0,3124	0,3961	0,2740	0,4533
Átlaghőmérséklet (14)	0,3338	0,4791	0,3764	0,6078	0,2304	0,5147	0,3678	0,5505
Napfénytartam (15)	0,7075	0,5834	0,6623	0,9727	0,7770	0,5791	0,6473	0,8656
Fototerikus index (16)	0,6599	0,8308	0,8026	0,8602	0,8600	0,8520	0,7884	0,9637
Relatív nedvesség (17)	0,4701	0,0063	0,3137	0,4695	0,4417	0,0283	0,3276	0,4801
Csapadék (18)	0,8961	0,1315	0,1072	0,8174	0,5115	0,1682	0,1609	0,7446
Párolgatóképesség (19)	0,8012	0,4338	0,1517	0,9480	0,7466	0,4056	0,1449	0,8460
Ariditási index (20)	0,0300	0,1421	0,2561	0,2216	0,1546	0,1658	0,3072	0,1533

(1) Impact on phanophase duration; (2) Impact on development rate; (3) Sowing-emergence; (4) Emergence-anthesis; (5) Anthesis-ripening; (6)-(11) Average temperature of different soil layers (degrees Celsius); (12) Minimum air temperature (degrees Celsius); (13) Maximum air temperature (degrees Celsius); (14) Average air temperature (degrees Celsius); (15) Sunshine duration (hours); (16) Photothermal index; (17); Relative humidity (%); (18) Precipitation amount (mm); (19) Potential evaporation amount (mm); (20) Aridity index

A fenti táblázatokban – mintegy elsődleges közelítésként használt – lineáris összefüggés vizsgálatok általában reális feltételezést jelentenek a meteorológiai viszonyoknak a kukorica hibridek fejlődésére gyakorolt hatásának jellegét illetően az egyes fenofázisokban. Ezen túlmutatóan bizonyos esetekben a három fenológiai szakaszra vonatkozó adatokat egyesítő, komplexebb vizsgálatok során is azt tapasztaltuk, hogy nem-lineáris függvényekkel közelítve az éghajlat-fejlődés kapcsolat szorosságát kifejező korrelációs koefficiens értékei nem javíthatók érdemben, mint ahogyan az a 6. ábrán is látható.

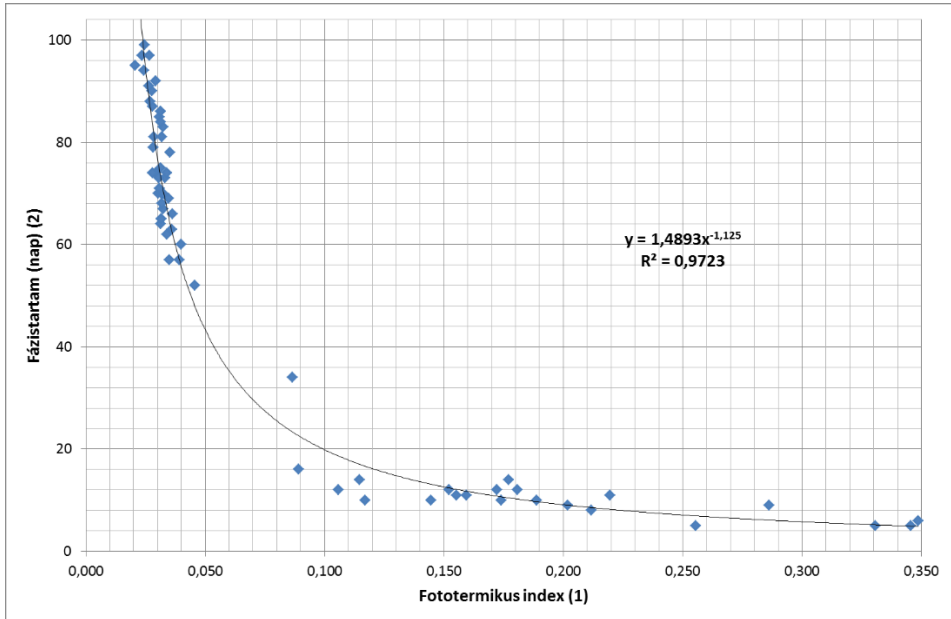


6. ábra. A kukorica fenofázisai alatti napfénytartam összeg hatása a középkorai érésű hibridek fenofázisainak hosszára

*Figure 6. Effect of sunshine duration sums during maize phenophases on phenophase duration of maize hybrids (mid-early maturity group)*

(1) Sunshine duration (hours); (2) Phenophase duration (days)

Ugyanakkor néhány esetben egy más jellegű függvény illesztése még számottevően képes javítani a táblázatokban megjelenített  $r$  értékeken, mint ahogyan az a 7. ábrán bemutatott példából is kitűnik, ahol a fototermikus indexnek a 400-as FAO-számú hibridek fázistartamaira gyakorolt hatását kifejező amúgy is magas korrelációs koefficiensét (0,8602) hatványfüggvény használatával szinte determinisztikusra, 0,9860-ra sikerült növelni.



7. ábra. A kukorica fenofázisai alatti fototermikus index hatása a középérésű hibridek fenofázisai hosszára

*Figure 7. Effect of photothermal index during maize phenophases on phenophase duration of maize hybrids (middle maturity group)*

(1) Photothermal index (2) Phenophase duration (days)

## **KÖVETKEZTETÉSEK**

Fontosabb megállapításaink az alábbi pontokban foglalhatók össze.

1. A két fő hazai érécsoportot reprezentáló kukorica hibridek fejlődése között nem találtunk szignifikáns különbséget.
2. A két érécsoport fenológiai szakaszai alatti meteorológiai viszonyok is nagyon hasonlóképpen alakultak.
3. A vetés-kelés szakasz meteorológiai viszonyai esetén nem volt kimutatható termikus vagy higrikus trend.
4. A vegetatív és generatív fenofázisokat a termikus elemek és a párologtatóképesség emelkedő értékei, valamint a relatív nedvesség csökkenő tendenciája jellemezték, ami kedvezőtlen a vízmérleg alakulása szempontjából.

5. Az egynyári növények vegetációs periódusa alatti klimatikus átrendeződés mértéke nem haladta meg az éves értékek vizsgálatával kapott értékeket, s szignifikánsan elmaradt az áttelelő növények tenyészidőszakát jellemző változásoktól.
6. A vegetatív szakaszban általában csökkent a meteorológiai elemek fejlődést befolyásoló szerepe.
7. A napfénytartam önmagában is erősen meghatározta az egyes fenofázisok hosszát, de a fototermikus index használatakor még ez az összefüggés javítható volt.
8. Általában reális közelítés lineáris kapcsolatot feltételezni a meteorológiai elemek és a kukorica fejlődése között, de bizonyos esetekben érdemes más jellegű függvényt használni.

*Összességében elmondható, hogy a mosonmagyaróvári több évtizedes agroklimatológiai vizsgálatorozat eredményei egyfelől jó egyezést mutatnak korábbi, hasonló jellegű kutatások tapasztalataival, másfelől viszont pontosítják az egyre inkább kibontakozó éghajlatváltozásnak a kukoricafenológiára gyakorolt regionális hatásait.*

## RESULTS OF MAIZE PHENOLOGICAL STUDIES IN MOSONMAGYARÓVÁR AT THE TIME OF CLIMATE CHANGE

ZOLTÁN VARGA

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

### SUMMARY

Our parallel meteorological and maize phenological data collection program in the Mosonmagyaróvár area began in 1997 and it continues to this day. This period coincides well with the 30 years between 1991 and 2020, which can be used to characterize the current climate of an area. Phenological studies are a relatively simple and accurate way to examine the regional evolution and effects of climate change. Therefore, in our studies focusing on maize hybrids belonging to the mid-early and intermediate maturity groups and thus authentically representing the domestic cultivation situation, we quantified the development of plants and the meteorological conditions during each phenological stage (sowing-emergence, emergence-flowering (anthesis), flowering (anthesis)-maturation),



and the impact of climatic elements and the development of maize. Differences between phenology of maturation groups were also analyzed. Our results can be considered representative of both the Mosoni plain and the Szigetköz.

**Keywords:** climate change, agriculture, maize, phenology, climatic elements

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését megalapozó kutatás az **Insula Magna komplex fejlesztési projekt** és a **Tématerületi Kiválósági Program 2020, Nemzeti Kihívások Alprogram, Autonóm Közlekedési Rendszerek Kiválósági Központ létrehozása Széchenyi István Egyetemen** című, **TKP2020-NKA14 azonosító számú projekt** támogatásával jött létre.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

*Alam, M.M. - Siwar, C. - Toriman, M.E. - Molla, R.I.* (2012): Climate change induced adaptation by paddy farmers in Malaysia. *Mitigation Adaptation Strategies for Global Change* 17. 173–186.

*Aono, Y. - Kazui, K.* (2008): Phenological data series of cherry tree flowering in Kyoto, Japan, and its application to reconstruction of springtime temperatures since the 9th century. *International Journal of Climatology*. 28, 905-914.

*Cook, J. - Oreskes, N. - Doran, P.T. - Anderegg, W.R.L. - Verheggen, B. - Maibach, E.W.- Carlton, J.S. - Lewandowsky, S. - Skuce, A.G. - Green, S.A. - Nuccitelli, D. - Jacobs, P.- Richardson, M.- Winkler, B. - Painting, R. - Rice, K.* (2016): Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming. *Environ. Res. Lett.* 11. 048002.

*Dióssy L.* (2008): The influence of global climate change on air and soil temperatures in maize canopy. *Időjárás*. 112(2). 125-139.

*IPCC* (2014): *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 1-31.

- Kocsis T. – Anda A. (2010):* A globális éghajlatváltozás várható hatásai Magyarországon. In: *Anda A. - Kocsis T. /szerk./: Agrometeorológiai és klimatológiai alapismeretek. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 64-69.*
- Lancashire, P.D - Bleiholder, H - Langeluddecke, P - Stauss, R - van den Boom, T - Weber, E - Witzgen-Berger, A. (1991):* A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Ann. Appl. Biol.* 119 (3): 561–601.
- Lieth, H. (1974):* Phenology and Seasonality Modeling. Springer Verlag, Berlin.
- Makra L. - Horváth Sz. - Pongrácz R. - Mika J. (2002):* Long term climate deviations: an alternative approach and application on the Palmer drought severity index in Hungary. *Physics and Chemistry of the Earth.* 27 (23-24). 1063-1071.
- Pieczka I. - Szabóné A. K. - Pongrácz R. - Bartholy J. (2017):* Regionális klímamodellszimulációk eredményei az új RCP-szcenáriók figyelembevételével. *Léggör: Az Országos Meteorológiai Intézet szakmai tájékoztatója.* 62. 175-178.
- Rey, D. - Holman, I.P. - Daccache, A. - Morris, J. - Weatherhead, E.K. - Knox, J.W. (2016):* Modelling and mapping the economic value of supplemental irrigation in a humid climate. *Agricultural Water Management* 173. 13–22.
- Rosenzweig, C - Casassa, G - Karoly, D.J - Imeson, A - Liu, C - Menzel, A - Rawlins, S - Root, T.L - Seguin, B - Tryjanowski, P. (2007):* Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. In: *Parry, M.L - Canziani, O.F - Palutikof, J.P - van der Linden, P.J - Hanson, C.E. (Eds.), Climate Change (2007): Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge UP, Cambridge, UK, 79–131.*
- Sváb J. (1981):* Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Szakály J. (1963):* Hazai őszi búza fajták fenológiai jelenségei. Beszámolók az 1962-ben végzett tudományos kutatásokról. Országos Meteorológiai Intézet, Budapest. 334-348.
- Szakály J. (1972):* Növényfenológiai vizsgálatok újabb eredményei. Beszámolók az 1969-ben végzett tudományos kutatásokról. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest. 413-416.
- Varga Z. (1999):* A kukorica (*Zea mays* L.) vegetációs periódusa alatti meteorológiai viszonyok összehasonlító vizsgálata. *Acta Agronomica Óváriensis.* 41 (1), 61-73.
- Varga-Haszonits Z. - Varga Z. (1998):* A meteorológiai tényezők hatása a kukorica fenofázisainak tartamára. *Növénytermelés.* 47 (5), 503-512.

Varga-Haszonits Z. - Varga Z. (2006a): Agrometeorológia. Egyetemi jegyzet. Mosonmagyaróvár.

Varga-Haszonits Z. - Varga Z. (2006b): Agrometeorológiai gyakorlatok. Egyetemi jegyzet. Mosonmagyaróvár.

Weber, E. - Bleiholder, H. (1990): Erläuterungen zu den BBCH-Dezimal-Codes für die Entwicklungsstadien von Mais, Raps, Faba-Bohne, Sonnenblume und Erbse - mit Abbildungen. Gesunde Pflanzen. 42, 308–321.

Wheeler, R. – Lobley, M. (2021): Managing extreme weather and climate change in UK agriculture:

Impacts, attitudes and action among farmers and stakeholders. Climate Risk Management 32. 100313

Zadoks, J. C. - Chang, T. T. - Konzak, C. F. (1974): A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research 14, 415-421.

Zheng, Y - Byg, A. - Thorsen, B.J. - Strange, N. (2014): A temporal dimension of household

vulnerability in three rural communities in Lijiang, China. Hum. Ecol. 42. 283–295.

*A szerző levélcíme:*

Dr. Varga Zoltán, PhD

egyetemi docens

Széchenyi István Egyetem,

Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar,

Víz- és Környezettudományi Tanszék

9200 Mosonmagyaróvár

Vár tér 2.

E-mail: [varga.zoltan@sze.hu](mailto:varga.zoltan@sze.hu)