

Dióssy László¹ – Dr. Anda Angéla²

A szenzibilis és a latens hő alakulása kukorica állományban

Összefoglalás

GOUDRIAAN szimulációs modelljével (Crop Microclimate Simulation Model) 2071–2100-ra vonatkozó jövőképeket vázoltunk fel a kukorica néhány mikroklíma elemére. A nyolc scenáriót az alábbiak szerint állítottuk össze: egy az elmúlt évtized változásait, egy a megduplázott CO₂-koncentrációt, míg a maradék hat eltérő mértékű felmelegedést tartalmazott (+3.8, +4.8, +6.0, és kettő db +9.0 °C-os forgatókönyv, mely utóbbi kettő csak a csapadékellátásban különbözött). A 9 °C-os jövőkép az extrém meleg napok hatását hivatott áttekinteni. A szenzibilis és a latens hő arányai scenáriónként nem változtak, de a kontroll futtatáshoz történő összehasonlítás már jelentős eltéréseket tartalmazott az egyes jövőképek energiafelhasználásában. Minden elképzelés növelte a kukorica állományon belüli léghőmérsékletét, de az állomány jelenléte a felmelegedést az árnyékoló hatásának köszönhetően mérsékelte. A vizsgálat eredményei lokális szintű információkat tettek hozzáférhetővé a potenciális felhasználóknak, melyek konkrét segítséget nyújthatnak a várható változások negatív hatásainak elhárítására való felkészülésben.

1. Bevezetés és célkitűzés

A különböző eredetű prognózisok a várható léghőmérsékletet annak bizonytalansága miatt határértékekkel közelítik. Az IPCC 2007-es *Helyzetértékelő Jelentése* a globális felmelegedést 1,1–6,4 °C közötti értékűre becsli a 2070–2100-es időszakra. Ehhez MIKA J. (2007) 1,4-es szorzót javasol hazánkra, a Kárpát-medence fokozottabb időjárás-érzékenysége miatt. A globális szintű eredmények hazai leskálázását BARTHOLY, J. et al. (2007) is elkészítette, mely eredményei közel estek MIKA J. (2007) prognózisaihoz. A csapadék előrejelzések esetében az egyes GCM futtatások meglehetősen eltérőnek mutatkoztak, még a változás előjele sem egyezik minden modellnél. A csapadék prognózisokban rejlő hőmérsékletet meghaladó bizonytalanság miatt vizsgálatunkban a hangsúlyt a léghőmérséklet változásainak elemzésére helyeztük, de nem a csapadékváltozás figyelmen kívül hagyásával. Célunk az energia megoszlásban fellépő módosulások detektálása volt, melyet egy hőre vonatkozó mikroklíma elem (állományon belüli léghőmérséklet) alakulásával is szemléltetünk.

2. Anyag és módszer

A modell bemenő adatai és paraméterei a keszthelyi Agrometeorológiai Kutatóállomásról származnak. Az input meteorológiai elemeket a helybeli Eppley QLC-50 típusú automata klímaállomás szolgáltatta. Az adott scenárióhoz tartozó bemenő növényi adatok esetében az időjárási inputokhoz hasonlóan az analógia elvét alkalmaztuk az elmúlt 30 év kukoricára vonatkozó mérési eredményeinek felhasználásával.

A modell az állományban maradó energiát két felhasználó között osztja. Az állomány *i*-edik rétegében a szenzibilis hőfluxus:

¹ Dióssy László *Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Budapest* E-mail: diosssy@mail.kvvm.hu

² Dr. Anda Angéla *Pannon Egyetem, Georgikon Kar, Keszthely* E-mail: anda-a@georgikon.hu

$$H_i = \rho c_p \frac{T_{ci} - T_{ai}}{r_{aHi}} \quad (1)$$

ahol $T_{ci} - T_{ai}$: növény- és léghőmérsékleti differencia (°C)

r_{aHi} : határréteg ellenállás (s/m)

ρ : a levegő sűrűsége (kg m⁻³)

c_p : a levegő állandó nyomáson vett fajhője (J kg⁻¹ K⁻¹).

A latens hőfluxus ugyanebben a rétegben:

$$\lambda E_i = \rho c_p \{q \times (T_{ci} - q)\} / [\gamma(r_{awi} + r_{ci})] \quad (2)$$

ahol $q^*(T_{ci}) - q$: adott levélhőmérséklethez tartozó telítési- és a tényleges vízgőz koncentráció különbsége (hPa)

r_{ci} és r_{awi} : az állományra és a vízre vonatkozó aerodinamikai ellenállás (s m⁻¹)

γ : pszichrometrikus konstans [hPa K⁻¹]

λ : a víz halmazállapot változásához szükséges energia (J g⁻¹).

A két energia összege adja az entalpiát minden egyes elemzett rétegben:

$$En_i = H_i + \lambda E_i \quad (3)$$

A léghőmérséklet közelítése az alábbi egyenlettel történt:

$$T_{a,i} = T_{a,i-1} + H_i R_i / \rho C_p \quad (4)$$

A modell részletes leírása GOUDRIAAN, J. (1977) eredeti publikációjában olvasható. Eredményeinket a cső szintjén reprezentáljuk.

A modell futtatások értékeléséhez párosított t-próbát alkalmaztunk, melyet a STATA 5.0 (1996) programcsomag ingyenes verziója alapján végeztünk. Az eljárás a kétmintás t-próbát egymintásra vezeti vissza, melyre azért van szükség, mert a modell futtatásainál ismétlési lehetőségre, s ezzel szórásszámításra nincs lehetőség. A próba a minta átlagát egy elvárt átlaghoz hasonlítja. A null-hipotézis szerint ha a különbségek átlaga egyenlő 0-val, akkor a két minta statisztikailag egyezik. Ha a különbségek átlaga 0-tól eltérő, akkor a két minta szignifikánsan különbözik. Az eljárás során a szignifikancia szintet 5%-ban rögzítettük.

2.1. Az alkalmazott scenáriók

A különböző jövőképek összehasonlításának időjárási alapját, a kontrollt (**első scenárió**) az IPCC 2007-es jelentésében közzétett forgatókönyvek alapjához hasonlóan az 1961–90-es évek átlagai képezték. A kontroll futtatásánál a bemenő CO₂-koncentrációt hazai mérésekből nyertük, az alapfuttatás esetében ez megfelelt 340 ppm-nek.

A **második scenárió** a közelmúlt változásait követi az 1997–2006-os évtized adatai alapján. Keszthelyen a nyár az utolsó klímanormál szerint 0,6 °C-al szignifikánsan magasabb léghőmérsékletű, mint az 1901–2000 adatsor júliusainak havi átlaga. A csapadék július havi összege bár statisztikailag nem igazolhatóan, de mintegy 10–15%-al csökkent Keszthelyen. A külső CO₂-koncentrációt 380 ppm-re becsültük.

A **harmadik scenárió** a külső CO₂-koncentráció emelésének hatásait hivatott számszerűen megjeleníteni (760 ppm) a meteorológiai inputok változatlansága mellett.

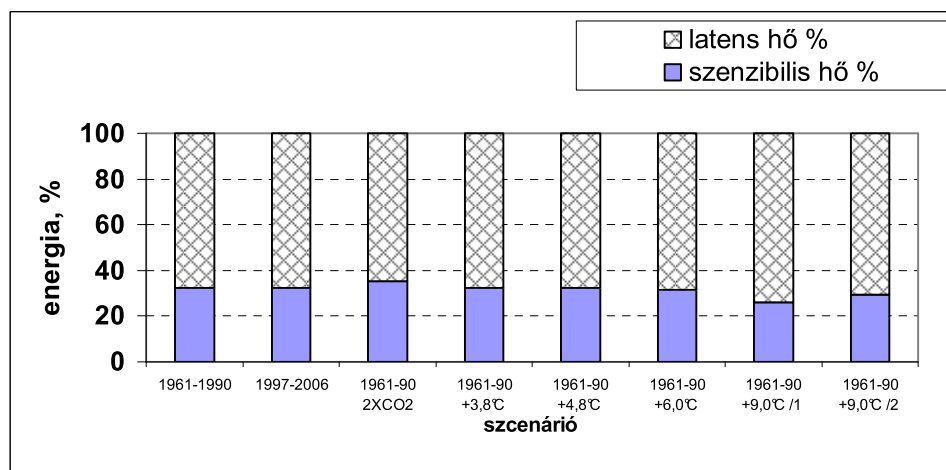
A további jövőképekben a jelenlegi külső CO₂ szint megkétszerezése mellett (760 ppm) a léghőmérséklet értékeit az alapfuttatáshoz képest (1961–90) fokozatosan emeltük, s vele együtt a csapadékot is módosítottuk. A **negyedik elképzelés** az IPCC 2007-es Helyzetértékelő Jelentésének B2 forgatókönyve alapján BARTHOLY, J. et al. (2007) által hazánkra leskálázott és térképesen megjelenített meteorológiai elemeinek Keszthelyre vonatkozó nyári értékeit tartalmazta 2070–2100-as időszakra előre jelezve. Ebben az elképzelésben a nyári középhőmérséklet Keszthelyen 3,8 °C-al emelkedni fog, melyhez mintegy 15%-os csapadék csökkenés társul. Az **ötödik szcenárió** az A2 IPCC-SRES (2000) forgatókönyv szerinti, fenti módon hazánkra leskálázott nyári adatait használta, mely a korábinál erőteljesebb felmelegedéssel számol (+4,8 °C). Ehhez a hőmérsékletnövekedéshez 25%-os csapadék csökkenés társított. Itt jegyezzük meg, hogy a csapadék szórása mindkét forgatókönyvnél meglehetősen magas ($\pm 15\%$), mely erős bizonytalanságot sejtet.

A **hatodik forgatókönyvnél** a léghőmérséklet átlagát 6,0 °C-al emeltük, 30%-os csapadékcsökkentés mellett. A 6 °C-os emelés az IPCC Negyedik Helyzetértékelő Jelentésében (2007) a felső, évi átlagban 6,4 °C-os határértékhez közeli. Ezt szem előtt tartva a két utolsó elképzelésben a felmelegedés mértékét tovább emeltük, mégpedig a felső 6,4 °C-os hőmérséklet-növekedés hazánkra vonatkoztatott 1,4-szeres szorzatának (9 °C) bevonásával. A csapadékviszonyok előrejelzésének bizonytalanságát ismerve a 9 °C-os felmelegedéshez kétféle csapadék ellátást társítottunk, melyből a **hetedik forgatókönyv** alig tételez fel csapadékmódosulást (–10%-os változás), a **nyolcadik elképzelés** ennél jelentősebb szárazodással számol (30%-os csapadék csökkenés). E két utolsó szcenárió összehasonlítása a későbbiekben arra is lehetőséget adott, hogy az eltérő csapadékelátás növényre gyakorolt hatását számszerűen megjelenítsük.

Terjedelmi korlátok miatt részletes anyagra és módszerre vonatkozó leírást lásd. DIÓSSY, L. (2008) publikációjában.

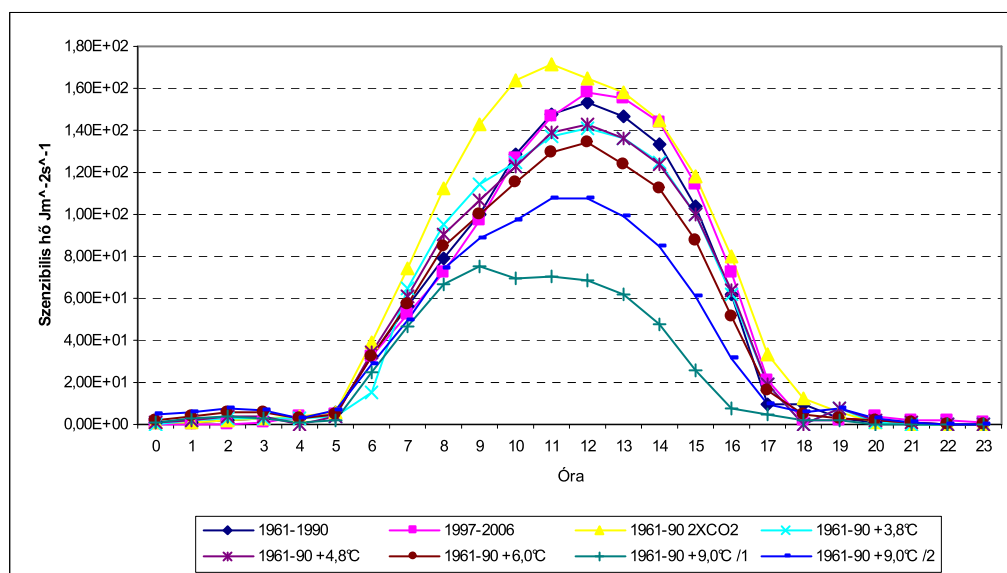
3. Eredmények és következtetések

Keszthelyen a szenzibilis és a latens hő aránya az 1961–90-es évek júliusainak adataiból 32:68% volt, mely megegyezik a hazai körülményekre megállapított 30:70%-os értékkel. Meglepetésként szolgált, hogy lényeges arányeltolódást az általunk alkalmazott többi forgatókönyv esetében sem tapasztaltunk (1. ábra). Itt jegyezzük meg, hogy az ábra nem tartalmazza a fotoszintézisben megkötött energiát, mely nagysága miatt (1–2%) a nem kimondottan rá vonatkozó megfigyeléseknél elhanyagolható.



1. ábra. A szenzibilis és a latens hő arányai szcenáriónként Keszthelyen, kukoricában

A továbbiakban – terjedelmi okok miatt – csak a szenzibilis hővel szemléltetjük a változásokat. Itt jegyezzük meg, hogy a szenzibilis-latens hő arány stabilitása nem jelenti azt, hogy minden jövőbeli elképzelés energiafelhasználása megegyezne. Az elmúlt évtizedben az érzékelhető hő napi átlagban 3,4%-al nem szignifikánsan emelkedett az 1961–90-es évek kontrollként kezelt futtatásához képest (2. ábra).



2. ábra. A szenzibilis hő napi változása az eltérő jövőképekben, a kukoricacső szintjén

A változás a nap folyamán nem volt azonos irányú. Délelőtt a közeli 10 év szenzibilis hőmennyisége elmaradt a kontroll-futtatás értékéhez hasonlítva, majd délben előjelet váltott az eltérés, s a délután folyamán már 8,7%-al meghaladta az 1961–90-es normál szenzibilis hőjét. A folyamat fenti alakulásának megértéséhez a többi környezeti tényező eredményeit együttesen szükséges áttekinteni. Rendkívül meglepő, hogy az 1997–2006-os futtatás délelőtti alacsonyabb szenzibilis hője egyben alacsonyabb növény- és léghőmérséklettel társult. A valószínű okot a légnedvesség-tartalom alakulásában kereshetjük, amely viszont az elmúlt évtizedben statisztikailag igazolhatóan meghaladta a korábbi 30 éves júliusok átlagát. A reggeli órák megemelkedett légnedvessége – mely érkezhett akár a kisebb sztóma ellenállással társítható magasabb transzspirációs vízvesztésből, vagy a talajról evaporációval – a levegő telítettségi hiányát, a párologtatás mozgató erejét csökkenthette. Ahogyan a légnedvesség értékei dél körül a két futtatásban már közelítettek egymáshoz, a növény környezeti tényezőkre adott válasz-reakciója is módosult, s ezzel a szenzibilis hőre vonatkozó eltérés iránya ellenkezőjére fordult. A teljes nap átlagában a magas napállás és az azt követő időszak dominanciája, a közelmúlt évtizedének magasabb szenzibilis hőmennyisége érvényesült, mely mindössze csak pár százalékos, de mégis többlet szenzibilis hőt eredményezett a korábbi 30 év érzékelhető hőmennyiségéhez képest.

A kétszeres CO₂-koncentráció a szenzibilis hő mennyiségét napi átlagban szignifikánsan 19,6%-kal emelte. Ez összhangban van a rendkívül módon megemelkedett sztóma ellenállással, s a csökkent párologtatással, illetve annak minden következményével.

Az A2 és a B2 futtatások szenzibilis hőmennyisége napi átlagban nem tért el lényegesen sem egymástól, sem az alapfuttatás értékétől. Ahogyan emeltük a felmelegedést, úgy csökkent a különböző scenáriók szenzibilis hőmennyiségeinek kontroll-futtatáshoz hasonlított értéke. Az ok a növényhűtéshez szükséges megnövekedett vízigény lehetett. Fontos tény, hogy Keszthelyen ehhez volt többlet víz (ha nincs elegendő vízutánpótlás, az energia a szenzibilis

hő arányát emeli). Ezt igazolja a két +9 °C-os futtatás eltérő vízellátásainak eredmény különbsége is. A 10%-os csapadék csökkenést bemutató forgatókönyvnél az alapfuttatáshoz képesti szenzibilis hőmennyiség az összes elképzelésből a legjelentősebben, 68,1%-kal esett vissza, szemben a fokozottabb, 30%-os nedvesség elvonásnál tapasztalt kontrollhoz képesti 32,7%-os érzékelhető hőcsökkenéssel. Mindkét kezelésnél nagyon magas a növények párolgásra-növényhűtésre fordítani kívánt energia igénye (9 °C-os napi átlagos felmelegedés feltétel!), mely már akkora vízigényt képvisel, hogy annak kielégítését az állomány az alapfuttatáshoz történő hasonlításban részben a szenzibilis hő rovására képes csak megvalósítani. Az alapfuttatásra vetített csökkent szenzibilis hőmennyiség a 30%-os csapadék megvonású kezelésben azt jelenti, hogy még e nehezebb környezeti feltételeknél is volt Keszthelyen némi tartalék, mellyel a növény a zordabb feltételekhez alkalmazkodni próbált.

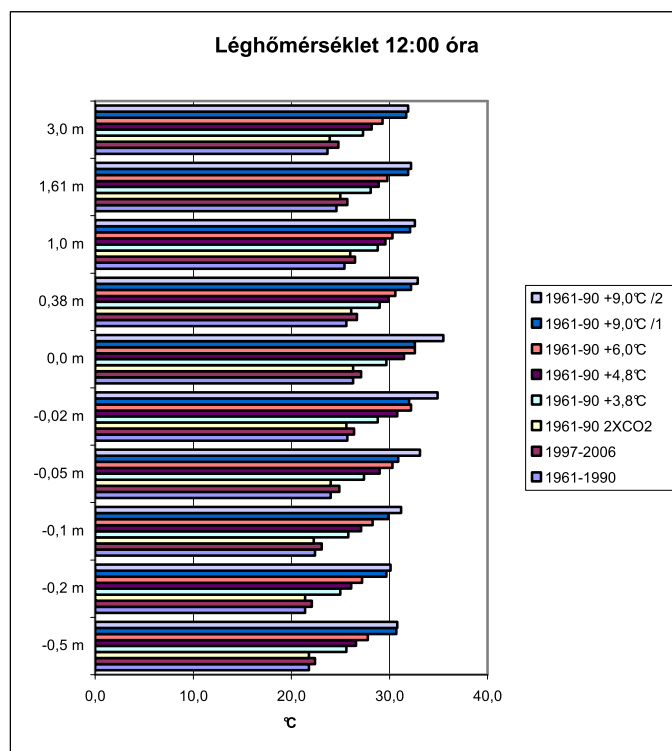
Mivel a szenzibilis hő a melegítési folyamatokban felhasznált energiahányadot tartalmazza, ezért ennek kiegészítőjeként a léghőmérséklet alakulását is bemutatjuk.

Mind a nyolc elképzelésben a legintenzívebb életfolyamatok színhelyén, a cső szintjében a megemelt külső léghőmérséklet növelte az állományon belüli légtér hőmérsékletét. Az állomány cső szintű melegedésének mértékében lényeges eltérés napmagasságtól függően nem volt tapasztalható (3. ábra), bár a melegebb forgatókönyveknél (4.-től kezdődően) a maximum hőmérséklet kialakulásának időpontjai tendencia jelleggel egy-egy órával későbbre, 14 órától 15 órára tevődtek át.

Az elmúlt évtizedben az állományon belüli léghőmérséklet 0,6 °C-al nőtt. A külső CO₂-koncentrációnak megkétszerezése az állományon belüli léghőmérsékletet a cső szintjében 0,3 °C-kal szignifikánsan növelte. A magasabb CO₂-koncentráció sztómák mozgására kifejtett pórusokat záró hatása követhető a fenti változás alapján.

Mind az A2, mind a B2 forgatókönyvnél az állományon belüli melegedés nem érte el a külső léghőmérséklet növelés mértékét, amely arra enged következtetni, hogy az állomány a felmelegedést pár tized fokkal kompenzálta.

A globális felmelegedés felerősített két utolsó scenáriójánál az állomány cső szintű léghőmérsékletet kompenzáló hatása megmaradt, viszont erősen függött a nedvesség ellátottságtól. Kisebb csapadék csökkenést feltételezve (-10%) az állomány a 9 °C-os külső felmelegedést 1,2 °C-kal volt képes mérsékelni. Az erősebb csapadékmegvonás ezt az értéket felére csökkentette. Az állományon belüli felmelegedés minden jövőképünkben 5%-os szinten statisztikailag igazolható változást jelentett.



3. ábra. A léghőmérséklet vertikális profiljai kukoricában és a talaj felső 50 cm-es rétegében

A különböző futtatások összehasonlítása alapján megállapítható, hogy önmagában sem a léghőmérséklet, sem a CO₂-koncentráció megváltoztatása megfelelő eredményre nem vezethet, mivel ezek a tényezők egymás hatását felerősíthetik, vagy kiolthatják. Ennek megfelelően a két utolsó scenárió állományon belüli léghőmérsékletében a csapadék ellátottság eltérése szignifikáns felmelegedésbeli különbséget okozott. Óvatosságra intő változást jelent az állományon belüli léghőmérsékletben a 6 °C-os felmelegedéshez képest mindkét 9 °C-os léghőmérséklet növelést tartalmazó futtatás szignifikánsan eltérő válasza. Mivel jelen vizsgálat lényeges csapadékváltozású elképzelést nem tartalmazott, ezért jövőbeni alkalmazásánál ezt feltétlenül tekintetbe kell venni.

Irodalom

- BARTHOLY, J. – PONGRÁCZ, R. – GELYBÓ, GY. (2007) Regional climate change in Hungary for 2071–2100. *Applied Ecol. and Environ. Res.* 5, pp. 1–17.
- DIÓSSY, L. (2008) The influence of global climate change on air and soil temperatures in maize canopy. *Időjárás*, 112, 2, pp. 125–139.
- GOUDRIAAN, J. (1977) *Crop Micrometeorology: A Simulation Study*. Simulation Monographs. Pudoc, Wageningen
- MIKA J. (2007) *Regionális éghajlati forgatókönyvek előkészítése statisztikus módszerekkel*. Akadémiai Doktori Értekezés, Budapest
- IPCC (2007) *Summary for Policymakers*. Available online: www.ipcc.ch
- STATA 5.0 (1996) Stata Corporation LP Texas, USA. Available online: www.stata.com