

PANNON EGYETEM
GEORGIKON KAR
Meteorológia és Vízgazdálkodás Tanszék

ÁLLAT- ÉS AGRÁRKÖRNYEZET-TUDOMÁNYI
DOKTORI ISKOLA
Környezet- tudományok Tudományág

Iskolavezető:
Dr. habil. Anda Angéla
az MTA doktora

Konzulens:
Dr. habil. Anda Angéla
az MTA doktora

AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS HATÁSÁNAK SZIMULÁCIÓJA KUKORICÁN

DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Készítette:
DIÓSSY LÁSZLÓ

KESZTHELY

2011

TARTALOMJEGYZÉK

1. A kutatás előzményei	3
A vizsgálat célkitűzése	3
2. A vizsgálat anyaga és módszerei	4
3. A vizsgálat eredményei	6
3.1 Az állományon belüli léghőmérséklet alakulása	6
3.2 A cső szinti növényhőmérséklet alakulása	7
3.3. A sztóma ellenállás és a párolgás	8
3.4. A szén asszimiláció folyamatában bekövetkező változások.....	9
3.5 Az állomány energia felhasználásának alakulása: a szenzibilis és a latens hő változásai	10
4. Új tudományos eredmények.....	12
5. Az értekezés témakörében megjelent tudományos közlemények.....	14
5.1 Idegen nyelvű lektorált folyóiratban megjelent cikkek.....	14
5.2 Magyar nyelvű előadások.....	15
5.3 Idegen nyelvű előadások	16
5.4 Idegen nyelvű posztterek	16
6. Tézisekben felhasznált irodalom.....	17

1. A kutatás előzményei

A globális klímaváltozás napjainkban az emberiség egyik legnagyobb kihívása. A klímaváltozás tényét – és azon belül is az emberi tevékenység szerepét - a megfigyelések és kutatások egyre inkább alátámasztják. A klímaváltozás ma kettős kihívást jelent.

Egyrészt az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésével lehet megelőzni azok súlyos következményeit, másrészt pedig a társadalomnak a hatásukhoz kell alkalmazkodniuk. Magyarország középtávú klímapolitikája a VAHAVA (Változás- Hatás- Válaszadás) tudományos kutatásra alapozva került kidolgozásra, melynek szakmai előkészítőjeként nagy hangsúlyt fektettünk arra, hogy a Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia (NÉS) az éghajlatváltozás következményeihez való alkalmazkodás lehetőségeit alaposan számba vegye az agrártermelés – mezőgazdálkodás területén is.

A középtávra szóló feladatok meghatározása mellett azonban a tudományos kutatásnak rendkívüli szerepe van abban, hogy a globális felmelegedés negatív hatásainak ellensúlyozására, valamint a szükséges és lehetséges alkalmazkodásra való felkészüléshez a gazdálkodók számára segítséget nyújtson úgy, hogy az alkalmazkodási eljárásoknak a helyi körülményekhez szükséges igazodniuk (Láng 2006).

A klímaváltozás regionális scenáriói, a jól felhasználható szimulációs modell, a rendelkezésre álló keszthelyi növényi és meteorológiai adatok felhasználásával elvégzett kutatás segítségével a század végére is levonhatók irányadó következtetések.

A vizsgálat célkitűzése

Vizsgálataink célja Keszthelyen a kukorica termesztésének feltételrendszerében várható változások bemutatása 2071-től 2100-ra vonatkozó időszakban, az éghajlati változások tükrében.

Mikrometeorológiai szimulációs vizsgálattal kívántuk meghatározni, hogy a klímaváltozás következtében fellépő CO₂ koncentrációváltozás, a felmelegedés, a csapadékellátás különbözősége milyen hatással van a kukorica növényélettani folyamataira.

Célunk az volt, hogy lokális szintű információkat nyújtsunk annak érdekében, hogy a várható negatív hatások elhárítására való felkészülést időben meg lehessen kezdeni.

2. A vizsgálat anyaga és módszerei

Az elmúlt évtizedek során jelentős fejlődésnek indult a speciális mikroklima az állományklima kutatása, melynek eredményeképpen teret hódítottak a fizikai folyamatokat szimuláló elméleti modellek a korábban uralkodó empirikus módszerek mellett. A modell egy létező rendszer (pl. egy növény vagy állomány) egyszerűsített mása, mely képes követni a jóval összetettebb valós rendszer viselkedését. A modell arra is lehetőséget biztosít, hogy a rendszer elemeit egyenként, vagy akár együttesen vizsgálja, a kiválasztott tulajdonságo(ka)t valóságos rendszerbe ágyazva komplexen kövesse. Az általunk alkalmazott modell a *Goudriaan* (1977) féle CMSM (Crop Microclimate Simulation Model) újabb verziójának (*Goudriaan és van Laar* (1994) PC-n futtatható változata volt. A modell fizikai modell, ezért alkalmazásához adaptációra nem volt szükség.

A növényi életfolyamatokban a globális felmelegedésnek, ill. annak egyik előidézőjének a légköri CO₂ szint megemelkedésének hatásait napjainkban is számos hazai és külföldi irodalom tárgyalja (*Mihailovic és Eitzinger* 2007, *Mera et al.* 2006, *Anda és Kocsis* 2007 stb.). A megduplázott CO₂ koncentrációt tartalmazó scenáriók különböző szinteken (globálístól a lokálisig) és növényfajonként eltérő időszakokra próbálnak jövőképet felvázolni a várható, esetenként akár pozitív változásokról. A szakirodalom a CO₂ szint megkétszereződésén kétféle értéket, és ennek megfelelően kétféle várható bekövetkezési időpontot ért. A standard értelmezés szerint a kétszeres CO₂-koncentráció 560 ppm-et, azaz az ipari forradalmat megelőző időszak 280 ppm-jének dupláját érti. Ennek bekövetkezését 2050-2060 közé várják a nemzetközi kibocsátás-csökkentési egyezmények a technológiai-energetikai innovációk, illetve a világgazdasági növekedés függvényeként. Egy másik lehetséges értelmezés a ma érvényes légköri szint (~380 ppm) kétszeresét, 760 ppm-et tekinti célfüggvények; ennek várható bekövetkezési idejét a különféle forgatókönyvek 2100 környékére, vagy az utánra teszik (*IPCC* 2007). Scenárióinkban mi az utóbbi elképzelést alkalmaztuk. A kizárólag CO₂ koncentráció emelést tartalmazó scenárióval a globális felmelegedés helyi jellegű pozitív hatását kívántuk számszerűen meghatározni.

A jövőképek a várható hőmérsékletet annak bizonytalansága miatt eltérő határértékekkel közelítik. Az IPCC legutóbbi jelentésében a globális felmelegedés várhatóan 1,1-6,4°C közötti 2071-2100-ra. Ennek hazai megfelelőjéhez *Mika* (2007) szerint 1,4-es szorzót kell alkalmazni, mely a Kárpát-medence fokozottabb időjárás érzékenységre utal. Feldolgozásunkban az extrém időjárási helyzetek gyakoribbá válását nem hagytuk figyelmen kívül; az IPCC előrejelzésének legnagyobb értékét (6,4°C), valamint a Kárpát-medence

fokozott érzékenységet (1,4-szeres szorzó) felhasználva fogalmaztunk meg egy-egy helyi scenáriót. Munkánkban felhasználtuk az IPCC (2007) Negyedik Helyzetjelentését és a Globális Cirkulációs Modellek hazai leskálázott eredményeit Bartholy *et al.* (2007) munkái alapján. A csapadék előrejelzések esetében az egyes GCM futtatások eredményei igen eltérőek, esetenként még a változás előjele sem azonos. A csapadék prognózisokban rejlő hőmérsékletet meghaladó bizonytalanság miatt vizsgálatunkban a hangsúlyt a léghőmérséklet változásainak elemzésére helyeztük, de nem a csapadékváltozás figyelmen kívül hagyásával. Az általunk alkalmazott scenáriók a hazai térségre legvalószínűbbnek tartott csapadék előrejelzéseket tartalmazzák.

A disszertáció célja a globális felmelegedés hazánkra leskálázott értékei alapján várható növényi tulajdonság módosulás(ok) meghatározása volt. A modell energetikai alapokon nyugszik, mely újszerű közelítést tett lehetővé a növényélettani folyamatok elemzésében. Amennyiben változik az állomány energia felhasználása, az hatással van minden életfolyamatára is (Mera *et al.* 2006). Teszt növényként a korai érésű Norma SC kukoricahibridet használtuk. Vizsgálatunk nyolc scenárió alapján kiterjedt az állományon belüli léghőmérséklet, a növényhőmérséklet, a sztóma ellenállás-párolgás, a szén asszimiláció, valamint az állomány energia felhasználásának alakulás elemzésére.

A modell bemenő adatai és paraméterei a keszthelyi Agrometeorológiai Kutatóállomásról (46°44'N; 17°14'E; 114,2 m tengerszint feletti magasság) származnak. Az input meteorológiai elemeket a helybeli Eppley pyranométerrel felszerelt QLC-50 típusú automata klímaállomás szolgáltatta. Az adott scenárióhoz tartozó bemenő növényi adatok esetében az időjárási inputokhoz hasonlóan az analógia elvét alkalmaztuk. A bemenő növényi adatoknál a szimulálni kívánt időjárással analóg évjáratot, és abból is átlagjúliust kerestünk, melynek kukoricára és talajnedvességre vonatkozó adatai megegyeztek, vagy közel azonosak voltak a szimulálni kívánt évjárat értékeivel. Ehhez az állomáson mintegy három évtizeden át gyűjtött középkorai érésű kukoricára vonatkozó adatsor állt rendelkezésünkre. A nyolc scenárióból egyik az 1961-90 közötti kontroll alapfuttatást mutatta be, egy a közelmúlt változásait, egy pedig a megduplázott CO₂ koncentráció hatását elemezte. A maradék öt scenárió a kétszeres CO₂ koncentráció mellett eltérő mértékű felmelegedést tartalmazott az alábbiak szerint: +3,8, +4,8, +6,0, és kettő db +9,0°C-os forgatókönyvek, mely utóbbi kettő csak a csapadékelátásban különbözött egymástól. Az egyik mérsékeltebb, a másik erőteljesebb szárazodást feltételezett (1. táblázat). A modell futtatások eredményeinek értékeléséhez párosított t-próbát alkalmaztunk, melyet a STATA 5,0 (1996) programcsomag 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.

3. A vizsgálat eredményei

3.1 Az állomáson belüli léghőmérséklet alakulása

Az eredmények szemléltetésére szolgáló legintenzívebb életfolyamatok színhelyén, a cső szintjében a megemelt külső léghőmérséklet növelte az állomáson belüli légtér hőmérsékletét. Az állomány melegedésében lényeges eltérés napmagasságtól függően nem volt tapasztalható, bár a melegebb forgatókönyveknél a maximum hőmérséklet kialakulásának időpontja tendencia jelleggel egy-egy órával 14 órától 15 órára tevődött át.

Keszthelyen 1997-2006-ig a globális felmelegedés nem volt hatástalan az állomáson belüli léghőmérséklet alakulására. Az összehasonlítás során számos kutatásban alapként szolgáló 1961-90-es klíma-normálhoz képest a külső léghőmérséklet növekedését követte a cső szinti állomáson belüli léghőmérséklet emelkedés, melynek mértéke egy átlagos júliusi napon az 1961-90-es évek átlagához képest szignifikánsan $0,6^{\circ}\text{C}$ volt.

Az alapfuttatás (1961-90) inputjaiból egyetlen bemenő paraméternek, a külső CO_2 koncentrációnak a megkétszerezése az állomáson belüli léghőmérsékletet a cső szintjében $0,3^{\circ}\text{C}$ -kal szignifikánsan növelte, jelezve a magasabb CO_2 koncentráció szótómák mozgására kifejtett pórusok záródását serkentő hatását.

A két IPCC származtatású futtatás eredményeiből arra következtethetünk, hogy a melegedés és a CO_2 koncentráció megkétszerezésének összekapcsolása együttesen, egymás hatását mintegy „kioltva” mérsékeltebb állomáson belüli léghőmérséklet változást indukál. Ez egyezik Prasad *et al.* (2006) korábbi tapasztalataival.

A globális felmelegedést jobban, de nem végletesen felerősített két utolsó scenáriónál az állomány cső szinti léghőmérsékletet kompenzáló hatása megmaradt, viszont erősen függött a nedvesség ellátottságtól. A csapadék kisebb csökkenését feltételezve (-10%) az állomány jelenléte a 9°C -os külső felmelegedést $1,2^{\circ}\text{C}$ -kal volt képes mérsékelni. Ez valószínűleg a nagyobb zöldfelület jelenlét fokozottabb árnyékoló hatásának köszönhető, mely a jobb

vízellátás eredményeképpen alakulhat ki. Amennyiben a fent említett mértékű melegedést a csapadék jelentősebb csökkenésével (-30%) kapcsoljuk össze, s vele együtt kisebb árnyékoló zöldfelület jelenlétét is feltételezve elemezzük, a kompenzáló hatás rögtön kb. felére, 0,7°C-ra mérséklődik.

3.2 A cső szinti növényhőmérséklet alakulása

Az eredményeink a növényhőmérsékletre és a cső szinti léghőmérsékletre vonatkozóan is összecsengtek *Anda* és *Lőke* (2006) kukoricára vonatkozó korábbi közleményével, melyben a két hőmérsékleti érték egymáshoz nagyon hasonló változásairól számolt be. A cső szinten mért növényhőmérséklet a CO₂ koncentráció megkétszerezésénél mérsékeltén változott, napi átlagban 0,2°C-os napszaktól független szignifikáns növekedést mutatott. Ez a megemelt szén-dioxid gázkoncentráció sztómát szűkítő, s párologtatást mérséklő hatásával van kapcsolatban, mely a növényhűtés elmaradása miatt a növény csekély mértékű melegedését okozza.

A közelmúlt cső szinti növényhőmérséklete a léghőmérséklethez hasonlóan napi átlagban szignifikánsan 0,6°C-al emelkedett, de ez az alapfuttatáshoz (1961-90) viszonyított eltérés – az állományon belüli cső szinti léghőmérséklettel szemben – már jellegzetes napi változékonyságot mutatott.

Az A2 és B2 forgatókönyvek hazai leskálázása esetére meghatározott növényhőmérséklet emelkedés nem érte el a futtatáshoz szimulált külső felmelegedés értékét, vagyis az állományon belüli léghőmérséklethez hasonlóan itt is tetten érhető az állomány növényhőmérsékletet kompenzáló hatása.

A kompenzáció mértéke alacsonyabb szimulált felmelegedésnél csekélyebb, mindössze néhány tized °C. Az A2 változatnál jelentkezett az a lélektani határ, melyet meghaladó felmelegedést (6°C-tól felfelé) szimulálva a növényhőmérséklet kompenzációja ugyan még működött, de elmaradt az állományon belüli léghőmérsékletnél tapasztalt mértéktől.

Az állomány jelenlétének külső léghőmérséklet növeléshez viszonyított belső növényhőmérséklet emelkedést mérséklő hatása még a két utolsó forgatókönyvnél is jelentkezett, mégpedig vízellátástól függően. A jobb csapadék ellátású scenáriónál 0,9°C, a szárazabb kezelésnél ennek már csak kb. a fele, 0,5°C volt. Az állomány növényhőmérsékleti kompenzációja azonban nem érte el az állományon belül mért cső szinti léghőmérséklet

kompenzációját. A léghőmérséklethez viszonyított fokozottabb növényhőmérséklet emelkedés a növény stressz-állapotának növekedésére utal (Anda 2001).

A Keszthelyre végzett szimulációs elemzés alapján megállapítható, hogy a felmelegedés növeli a növényhőmérsékletet, de nem a külső léghőmérséklet növekedésének mértékében. Az állomány jelenléte a növényhőmérséklet növekedését részben kompenzálta, még a meglehetősen erős felmelegedés szimulációnál is. A kompenzáció mértéke a vízellátottság függvénye is volt.

A jobb vízellátás nagyobb zöldfelület képzéssel és ezzel erőteljesebb árnyékoló hatással jár együtt, mely a növényhőmérséklet alakulását is befolyásolta (Dióssy 2008).

3.3. A sztóma ellenállás és a párolgás

A kontrollként használt 1961-90-es évek mutatójához viszonyítva minden forgatókönyv szerint szignifikánsan emelkedett a napi átlagos sztóma ellenállás.

A közelmúltban július során már 14,6%-kal szignifikánsan nőtt az átlagos sztóma ellenállás értéke, valószínűleg a magasabb hőmérséklet és a kisebb júliusi csapadék eredményeként.

Önmagában a megkétszerezett külső CO₂ gáz koncentráció napi átlagban a sztómarések nyílását kb. a felére szűkíti (47,9%). Ez a hatás alacsony napállásnál, elsősorban reggel még ennél is nagyobb, 60%-ot meghaladó mértékű. A környezeti tényezők a növény közelében együttesen vannak jelen, így hatásaik is integrálódnak.

A két IPCC forgatókönyv futtatásában a napi átlagos sztóma ellenállás értékei statisztikailag nem tértek el egymástól, sőt a kizárólag CO₂ koncentrációt megkétszerező szcenárió ellenállásától sem. Ez arra enged következtetni, hogy a megemelt CO₂ szint sztómát szűkítő hatása akár más környezeti tényező módosításával (pl. vízellátás változás) is előállítható.

Az átlagosnál melegebb július – még változatlan csapadék esetében is – a korábbi megfigyelések szerint alacsonyabb levélfelület képzéssel jár együtt. A kukorica növekedési depresszióját az esetleges vízhiány még tovább fokozhatja. Az állomány egységnyi zöldfelületére vonatkoztatott legalacsonyabb sztóma ellenállású kezelés az alapfuttatás volt. Az 1997-2006-ig terjedő időszakban ez az érték több mint 30 s/m-el emelkedett. Ez a levélfelület indexet változatlannak véve egyértelműen a melegedésnek és a csapadék csökkenésnek tudható be. A CO₂ koncentráció megkétszerezése a vizsgálat helyszínén minden egyéb külső tényező „állandósága” mellett 47,9%-os egységnyi levélfelületre vonatkoztatott sztóma ellenállás emelkedéssel jár. Erőteljes felmelegedés a csapadék

jelentősebb csökkenése mellett a legszélsőségesebb (utolsó) forgatókönyv szerint az egységnyi zöldfelületre vetített sztómaellenállást akár meg is duplázhatta.

Sem a napi, sem a teljes hónapra számolt átlagos transzspirációs vízvesztés az elmúlt évtizedben nem változott. Ez valószínűleg a nagyobb légköri CO₂ koncentrációnak és a tendencia jelleggel fellépő júliusi csapadék csökkenés együttes következménye lehet. Ha a légkör CO₂ koncentrációját az 1961-90-es időszakra jellemző szinthez képest megduplázzuk, a sztómák szűkülése miatt a párologtatás csökkenése napi átlagban mintegy 0,5 mm, azaz 14,3%. (Ez egész júliusra vonatkoztatva havi összegben 15 mm-es transzspirációs víz mennyiség csökkenést jelent.) A vízvesztés fokozódása a 9°C-os léghőmérséklet növekedést feltételező forgatókönyveknél jelentősebb, ha ehhez van elegendő hozzáférhető talajvíz, vagyis a csapadék mérsékelt (-10%-os) csökkentése mellett (29,9%). A talajnedvesség 30%-os csökkentésénél a párologtatás fokozódása ennél jóval kisebb, csupán 13,7%, mivel ebben az esetben a vízhiány valószínűleg már komoly korlátozó tényezőt jelentett. Viszonylag magasabb mértékű felmelegedésnél (6°C) a megemelkedett külső légköri CO₂ koncentráció részben kompenzál. Ez azonban csak akkor működhet, ha a csapadék nem módosul jelentősen. A csapadék drasztikus visszaesése az eredményeket azonnal felülírhatja, ugyanis a vízhiány kedvezőtlen hatása a növény valamennyi életfolyamatára depresszíven hat.

3.4. A szén asszimiláció folyamatában bekövetkező változások

A közelmúltban Keszthelyen a magasabb léghőmérséklet, s a némiképp megemelkedett légköri CO₂ koncentráció a kukorica fotoszintézis intenzitását 6%-al szignifikánsan emelte. Ebben a forgatókönyvben az évtized tendencia jellegű mérsékelt csapadék csökkenése is benne foglaltatik. A 6%-os növekedés szerint a külső környezeti tényezők változása eddig pozitívan befolyásolta a helyben termesztett kukorica produktivitási mutatóját, a fotoszintézis intenzitást. Önmagában a CO₂ gáz koncentráció megduplázása, valamennyi környezeti és növényi jellemző 1961-90-es szinthez képesti változatlanúsága esetén 35,1%-os produktum növekedést okoz (5%-os szinten szignifikáns).

Mindkét IPCC scenárió helybeli leskálázásának eredményei szerint a fotoszintézis intenzitásának növekedése statisztikailag igazolható, még ha a CO₂ gáz koncentrációjának növeléséhez képest kisebb mértékben is. Ez az érték a B2 forgatókönyvnél 24%, az A2-nél mérsékeltebb, 14,5%. A fotoszintézis intenzitásának csökkenése a 6°C-ot meghaladó felmelegedést szimuláló scenárióknál következett be. A csökkenés mértéke akkor haladja

meg a néhány %-ot, ha a felmelegedéshez jelentősebb nedvességelvonás is társul, nevezetesen a 9°C-os felmelegedésnél, ahol a csapadék csökkentése 30%-ot tett ki (5%-on szignifikáns az eltérés). Az utolsó forgatókönyv szerinti változások esetére a szimulációs modell a fotoszintézis intenzitás visszaesését 24,5%-ra becsülte.

Saját vizsgálataink igazolták *Prasad et al.* (2006) korábbi megállapítását, mely szerint a megemelt CO₂ gáz koncentráció fotoszintézis intenzitást növelő hatása a kísérőként fellépő melegebb növény- és léghőmérséklet miatt realizálódni nem tud, ezáltal a globális felmelegedés egyik előidézőjéhez, a magasabb CO₂ koncentrációhoz kötött pozitív hatás megjelenésével 6°C feletti havi átlagos nyári melegedésnél számolni nem célszerű (*Dióssy* 2008).

3.5 Az állomány energia felhasználásának alakulása: a szenzibilis és a latens hő változásai

1997 és 2006 között az érzékelhető hő napi átlagban csupán 3,4%-kal, nem szignifikánsan emelkedett az 1961-90-es évek értékéhez képest.

A kétszeres CO₂ koncentráció a szenzibilis hő mennyiségét napi átlagban szignifikánsan 19,6%-al növelte. Ez összhangban van a növekvő sztóma ellenállással, s a csökkenő párologtatással, illetve annak következményeivel.

Az A2 és a B2 futtatások szenzibilis hőmennyisége napi átlagban nem tért el lényegesen sem egymástól, sem az alapfuttatás értékétől.

Ahogy emelkedett a forgatókönyvek szerinti felmelegedés szimuláció, úgy csökkent a különböző scenáriók szenzibilis hőmennyiségeinek kontroll futtatáshoz hasonlított értéke.

A 6°C-os melegedést szimuláló kezelésnél napi átlagban a szenzibilis hő csökkenése 10,3% (5%-os szinten szignifikáns), mely arra utal, hogy a növényhűtéshez szükséges víz ennél a felmelegedésnél már több energiát igényelt, mint amennyi az 1961-90-es évek júliusában a megfelelő növényhőmérséklet beállításához szükséges volt. S az is fontos, hogy volt elegendő többlet víz, melyet a növény el is tudott párologtatni (ha nincs elegendő vízutánpótlás a növény számára, az energia a szenzibilis hő arányát emeli). Ezt a gondolatot erősíti a 9°C-os léghőmérséklet emelésnél a két eltérő vízellátás futtatásából adódó szenzibilis hő alakulás statisztikailag is igazolt eltérése. A 10%-os csapadék csökkenést bemutató forgatókönyvnél az alapfuttatáshoz képesti szenzibilis hő mennyiség az összes elképzelésből a legjelentősebben,

68,1%-al esett vissza, szemben a fokozottabb, 30%-os nedvesség elvonásnál tapasztalt kontrollhoz képesti 32,7%-os érzékelhető hő csökkenéssel.

Mindkét kezelésnél nagyon magas a növények párologásra-növényhűtésre fordítani kívánt energia igénye (9°C-os felmelegedés feltétel!), mely már akkora víz-igényt képvisel, hogy annak kielégítését az állomány az alapfuttatáshoz történő hasonlításban részben a szenzibilis hő rovására képes csak megvalósítani. A csekélyebb vízmegvonású kezelésben több a növény számára rendelkezésre álló vízmennyiség. A párologás rendkívül magas energiaigényű, – lásd. víz magas fajhője - mely energiaszükségletet az alapfuttatáshoz képesti összehasonlításban az extrém meleg scenáriókban a kukorica csak nagyon magas energia-befektetéssel képes realizálni.

Az utolsó forgatókönyv feltételei, az extrém léghőmérséklet az alapfuttatásnál jóval erőteljesebb transzspirációt tételez fel, melyhez a többlet energia forrása részben a kontroll futtatásban szenzibilis hőként elhasznált energia-hányad. Az utolsó scenárióban a vízmegvonás mértékét 30%-ra emeltük, mely a növény vízigényét adott környezeti feltételeknél fedezni már nem volt képes. Ennek következtében az energia egy része a magasabb vízellátású futtatáshoz képest latens hőként nem tudott megjelenni, hanem a szenzibilis hő mennyiségét fokozta, felére csökkentve ezzel a kontroll scenárióhoz képesti energia felhasználás visszaesését. 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 képes.

A latens hőnél az 1961-90-es évekhez viszonyított 14,2%-os szignifikáns csökkenést a CO₂ szint megduplázásakor tapasztaltunk. Ez az érték egyben a globális felmelegedés növények vízháztartására kifejtett párologtatást mérsékelő hatásának energetikai alapokra helyezett számszerű megjelenítése (Dióssy és Anda 2008). Ez Keszthelyen a pozitív „hozadéka” a globális változást előidéző CO₂ koncentráció növekedésének, mely a kukorica sztómáit szűkíti. Nem szabad megfeledkezni arról, hogy a fenti hatás kizárólag a CO₂ koncentráció megkétszereződésekor, s minden egyéb környezeti tényező változatlansága mellett jelentkezne, mely tudjuk, nem reális feltételezés.

A 6°C-ot meghaladó mértékű felmelegedés valamennyi forgatókönyvnél statisztikailag igazolhatóan növelte az alapfuttatáshoz viszonyított latens hő arányát. Ez a mérsékeltebb 6°C-os léghőmérséklet növelésénél még csak 4,1%-os növekedést jelentett. A legnagyobb eltérést a 9°C-os, csekélyebb vízmegvonású scenáriónál tapasztaltuk, 30,2%-os növekedéssel. Ennél a kezelésnél elegendő víz áll rendelkezésre, amit a kukorica el tud párologtatni, mellyel a

szenzibilis energiafelhasználás mértéke 1/3-al meghaladja az 1961-90-es évekre számolt párolgási energia felhasználást. A csapadék 30%-os csökkentésénél a szűkösebb vízellátás mérsékeltebb lehetőséget biztosított, s itt az alapfuttatáshoz viszonyított energia felhasználás 13,9%-al haladta meg a kontroll értékét. A latens hő csökkenésének oka egyértelműen a korlátozottabb vízellátás volt. A transzspiráció kisebb intenzitása nem teszi lehetővé az optimális növényhőmérséklet kialakítását, ennek eredménye a biokémiai folyamatok sérülése, illetve a megtermelt szárazanyag mennyiségének depressziója. A két eltérő vízellátásnál végzett szimulációk latens hő arányai 5%-os szinten igazolhatóan különböztek egymástól.

4. Új tudományos eredmények

1. Az alapfuttatáshoz képest mindegyik forgatókönyvnél az állományon belüli léghőmérséklet magas valószínűségi szinten szignifikánsan melegebb. Az elmúlt évtizedben ennek mértéke az 1961-90-es évekhez képest 0,6°C. Az állomány melegebbé a külső hőmérsékletnöveléssel arányosan változott. A különböző futtatások állományon belüli léghőmérsékletének összehasonlítása alapján megállapítható, hogy önmagában sem a léghőmérséklet, sem a CO₂ koncentráció megváltoztatása nem vezet a várt eredményre, mivel ezek a tényezők egymás hatását felerősíthetik, vagy kiolthatják. A szimulációs modellezés azért jelent megfelelő eszközt a megismerés folyamatában, mert a növényt és környezetét együttesen kezeli. A hőmérséklethez. A hőmérséklethez hasonló lehet a csapadék hatása, melynek megfelelően az extrém meleg scenáriók állományon belüli léghőmérsékletében a csapadék ellátottság eltérése szignifikáns felmelegedésbeli különbséget okozott. Figyelmet érdemel az állományon belüli léghőmérsékletben a 6°C-os felmelegedéshez képest mindkét 9°C-os léghőmérséklet növelést tartalmazó futtatás szignifikánsan eltérő válasza. A növényállomány jelenléte azonban a felmelegedést valószínűleg az állomány árnyékoló hatásának köszönhetően a cső szintjében mérsékelte. Nem szabad figyelmen kívül hagyni azt a tényt, hogy az állomány kompenzáló hatása függ az állomány felépítésétől, amelyet viszont a nedvesség ellátottság determinál.

2. A cső szintjére számolt növényhőmérséklet eltérő forgatókönyvek szerinti értékei az alapfuttatástól, a két IPCC scenárió egymástól, valamint a 6°C-os felmelegedéshez képesti mindkét 9°C-os hőmérséklet emelésű kezelés növényhőmérsékletei bár csekély mértékben, de legalább 5%-os szinten szignifikánsan eltértek egymástól. A Keszthelyre végzett szimulációs

elemzés alapján megállapítható, hogy a felmelegedés növeli a növényhőmérsékletet, de nem akkora mértékben, mint ahogy a külső léghőmérséklet növekszik; az állomány kompenzációja még magas léghőmérséklet emelésénél is működött, bár mértéke erősen vízellátás függő volt. A kukorica optimális növényhőmérséklete 23-24°C körüli, mely értéket helybeli mérések szerint július dél körüli óráiban Keszthelyen már napjainkban is többször meghaladta az aktuális állományhőmérséklet. A globális felmelegedés helyi hatásai elleni védekezés egyetlen lehetősége a növények számára a hűtő közeg, a kiegészítő vízellátás biztosítása lehet, mely feltételezi az öntözés korábbi gyakorlatának átgondolását.

3. A két legnagyobb energia felhasználás, a szenzibilis és a latens hő arányai kukoricában átlagos júliust feltételezve nagymértékben nem változtak. Ennek ellenére mégsem szabad lebecsülni a néhány % -os módosulást sem, hiszen a fotoszintézis folyamatában éppen ekkora a teljes energiamegkötés értéke. A két energiafelhasználás egymástól nem független, s különösen a vízellátás hatása elsődleges szerepű. Ezt igazolhatja a két 9°C-os hőmérséklet emelésű futtatás szenzibilis hőjének összehasonlítása, mely szerint a kisebb nedvesség elvonás (-10% csapadék) erőteljesebb szenzibilis hő csökkenést vont maga után, mint a fokozottabb nedvesség elvonású kezelés. A 30%-ra emelt vízmegvonás a növény vízigényét adott környezeti feltételeknél fedezni már kevésbé volt képes, így a forgatókönyvben szimulált többlet energia egy része latens hőként nem tudott megjelenni, hanem a szenzibilis hő mennyiségét emelte. Az alapfuttatáshoz hasonlított csökkent szenzibilis hőmennyiség a 30%-os csapadék megvonású kezelésben azt jelenti, hogy még e nehezebb környezeti feltételeknél is volt Keszthelyen némi nedvesség-tartalék, mellyel a növény a zordabb feltételekhez alkalmazkodni próbált. Nem biztos, hogy ez a lehetőség az ország bármely pontján rendelkezésre áll.

4. A globális felmelegedés egyik előidézője, a megemelt CO₂ koncentráció önmagában a sztóma réseket 14,3%-kal szűkítette, mely a globális felmelegedés növény párologtatására gyakorolt hatásának számszerűsített értéke Keszthelyre. Ez pozitív hatás, mert ennyivel csökkenhet a növény transzspirációja az évek többségében szűkölködő vízellátású júliusok folyamán.

5. Saját vizsgálataink szerint a megemelt CO₂ gáz koncentráció fotoszintézis intenzitást növelő hatása a kísérőként fellépő melegebb növény- és léghőmérséklet miatt realizálódni nem minden esetben tud, ezáltal a globális felmelegedés egyik előidézőjéhez, a magasabb

CO₂ koncentrációhoz kötött pozitív hatás megjelenésével Keszthelyen 6°C feletti havi átlagos nyári melegedésnél számolni nem célszerű. Ez alatt viszont igen, ami pl. a közelmúlt szén asszimilációjának 6-7%-os emelkedésében is megmutatkozott. Az asszimiláció értéke eltérő attól függően, hogy levélfelületre, vagy egységnyi talajfelületre számoljuk azt. A talajfelületre végzett közelítések jóval erőteljesebb fotoszintézis intenzitás csökkenést mutatnak, mivel ebben a zöldfelület nagyságának felmelegedés miatti csökkenése hatványozottabban jelentkezik. Ami visszafogja az asszimiláló zöldfelület csökkenését, az a terméskiesést is mérsékli. Feltételezésünk szerint a víz tűnik a jövő szűk keresztmetszetének, mely hiányára a gazdálkodóknak fel kell készülniük még akkor is, ha a csapadék változás előrejelzése napjainkban meglehetősen bizonytalan.

6. A transzspiráció növekedés a 6°C-ot meghaladó felmelegedés szimulációknál lépett fel, de a kukorica vízvesztésének fokozódása a 9°C-os léghőmérséklet növekedést feltételező forgatókönyvek közül is ott igazán magas, ahol van elegendő hozzáférhető víz a talajban, vagyis a mérsékelt (-10 %-os) csapadék megvonású kezelésnél. Megállapítottuk, hogy a megemelkedett külső légköri CO₂ koncentráció némiképp kompenzál, de csak akkor ha a csapadék jelentősen nem módosul.

5. Az értekezés témakörében megjelent tudományos közlemények

5.1 Idegen nyelvű lektorált folyóiratban megjelent cikkek

Dióssy L. / 2008/: The influence of global climate_change on air and soil temperatures in maize canopy. Időjárás Vol. 112. No. 2: 125-139.

Dióssy L. /2008/: Simulation of local plant temperature in maize at Keszthely as a result of global climate modification. Georgikon for Agriculture (Multidisciplinary Journal in Agricultural Sciences) Vol. 11. No. 1: 19

Dióssy L.-Anda A. /2009/: Consequences of climate change on some maize characteristics in Hungary. Időjárás Vol. 113. No.1-2 :145-156. *Impact factor*: 0,189

Anda A. –**Dióssy L.** /2010/: Simulation in maize-water relations: a case study for continental climate (Hungary). *Ecohydrology* 3, 487-496. *Impact factor*: 1,789

Dióssy L.-Anda A. /2008/: Energy-based approach of local influence of global climate change in maize stands. *Cereal Research Communications* 36. 4: 591-600. *Impact factor*: 1.190.

Dióssy L. /2009/: The Hungarian national climate change strategy: its principles, assignments and a special case study on maize production. *Environment, Development and Sustainability*. 11:1135-1144

5.2 Magyar nyelvű előadások

Dióssy L. /2007/: A Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia küldetése – megelőzés és alkalmazkodás. „Agrárgazdaság a vidékért, a környezetért, az életminőségért” XLIX.

Georgikon Napok, Keszthely, 2007. szeptember 20. Az előadás összefoglaló kötetben jelent meg. (ISBN: 978-963-9639-20-1)

Dióssy L. /2007/: Éghajlatváltozás és az emberi egészség. Környezeti Ártalmak és a Légzőrendszer. A Magyar Tüdőgyógyász Társaság Környezetvédelmi Szekciójának XVII. Országos Konferenciája Hévíz, 2007. október 17-18. Az előadás teljes terjedelemben DVD-n jelent meg (ISBN: 978-963-87327-1-2).

Dióssy L.-Anda A. /2008/: A szenzibilis és a latens hő alakulása a kukoricaállományban. IV. Magyar Földrajzi Konferencia, Debrecen, 2008. november 14-15. Az előadás összefoglaló kötetben jelent meg. (ISBN: 978-963-06-6004-4)

Dióssy L. /2008/: A globális felmelegedés hatása a növények életére. Magyar Meteorológiai Társaság . 2008. november 25.

Dióssy L. /2007/: A Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia. II. Növényorvos Nap, Budapest, 2007. november 14.

Dióssy L. /2008/: Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia. Magyarország Üzleti Tanács a Fenntartható Fejlődésért. Budapest, 2008. április 3.

Dióssy L. /2008/: Felkészülés a klímaváltozásra. Nyitóelőadás a veszprémi Klímanap alkalmából. Pannon Egyetem Veszprém, 2008. május 19.

Dióssy L. /2009/: Klímavédelem és önkormányzatok. Klímavédelem és Területfejlesztés Nemzetközi Konferencia. Keszthely 2009. június 5.

5.3 Idegen nyelvű előadások

Dióssy L.-Anda A. /2008/: Consequences of climate change on maize production in Hungary. Symposium on Climate Change and Variability – Agromet. Monitoring and Coping Strategies for Agriculture held in Norway, 3-6 June, 2008. Focus Bioforsk I. Vol. 3. No. 8: 65.

Dióssy L. /2007/: Climate Change and Global Warming , Opening session lecture. PRES'07 8th International Conference on Chemical and Process Engineering, 10th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction held in Italy ,Ischia,24-27 June , (CD ICheaP-8)

Dióssy L. /2008/: Opening speech of the Conference on Center for Climate Change and Sustainable Energy Policy, CEU Budapest,21 April,2008.

5.4 Idegen nyelvű poszterek

Dióssy L. - Anda A. /2008/: Simulation of stomatal resistance modifications as a result of global warming. 16th International Poster Day (CD ISBN 978-80-89139-16-3)

Anda A. - Dióssy L. / 2009/: Simulated crop-water relations in maize. (poster) ESRIN, Frascati, Italy, 18-20 November, 2009.

6. Tézisekben felhasznált irodalom

Anda A. - Kocsis T. /2006/: Szemelvények meteorológiából és éghajlattanból alapszakos (BSc) hallgatók számára. Kari jegyzet, PE GMK, Keszthely p: 134.

Anda A. /2001/: Az állományklímát befolyásoló néhány eljárás mikrometeorológiai elemzése. Akadémiai Doktori Értekezés

Anda A. - Lőke Zs. /2006/: A növény-légkör rendszer kölcsönhatásai kétszeres CO₂ koncentrációnál. Növénytermelés 55. 3-4: 189-201.

Bartholy J. - Pongrácz R. - Gelybó Gy. /2007/: Regional climate change in Hungary for 2071-2100. Applied Ecology and Environment Research 5, 1-17

Dióssy L. /2008/: The influence of global climate change on air and soil temperatures in maize canopy. Időjárás (Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service) Vol. 112. No. 2: 125-139.

Dióssy L. - Anda A. /2008/: Energy-based approach of local influence of global climate change in maize stands. Cereal Research Communications 36. 4: 591-600. Impact factor: 1.190.

Goudriaan J. /1977/: Crop micrometeorology: a simulation study. Simulation monographs, Pudoc, Wageningen

Goudriaan J. - van Laar H.H. /1994/: Modelling potential crop growth processes. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp 58-67.

IPCC /2007/: Summary for Policymakers. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor HL, Miller G (Eds) Climate Change (2007) The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, Available online: www.ipcc.ch

Láng I. /2006/: Éghajlat és időjárás: változás – hatás – válaszadás. AGRO-21 Füzetek. Budapest.

Mera R.J. - Niyogi D. - Buol G.S. - Wilkerson G.G. - Semazzi F.H.M. /2006/: Potential individual versus simultaneous climate change effects on soybean (C₃) and maize (C₄) crops: An agrotechnology model based study. Global and Planetary Change 54, 163-182

Mihailovic D. T. - Eitzinger J. /2007/: Modelling temperatures of crop environment Ecological Modelling, 2007, Volume 202, Issues 3-4: 465-475.

Mika J. /2007/: Regionális éghajlati forgatókönyvek előkészítése statisztikus módszerekkel. Akadémiai Doktori Értekezés, Budapest

Prasad P.V.V. - Boote K.J. - Allen L.H. Jr. /2006/: Adverse high temperature effects on pollen viability, seed-set, seed yield and harvest index of grain-sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] are more severe at elevated carbon dioxide due to higher tissue temperatures. Agricultural and Forest Meteorology 139, 237-251