

**PANNON EGYETEM**  
**Georgikon Kar**  
**KESZTHELY**

Festetics Doktori Iskola

Iskolavezető:  
**Dr. Anda Angéla**  
egyetemi tanár, az MTA doktora

DOI:10.18136/PE.2019.700

**KOROMSZENNYEZÉS HATÁSAINAK VIZSGÁLATA A KUKORICA VÍZ- ÉS  
ENERGIAFORGALMÁRA ÉS NÉHÁNY MIKROKLÍMA ELEMÉRE**

*Doktori (PhD) értekezés*

Készítette:  
**Sárfiné Illés Bernadett**

Témavezető:  
**Dr. Anda Angéla**  
egyetemi tanár, az MTA doktora

Keszthely  
2018

## Tartalomjegyzék

KIVONAT.....	4
ABSTRACT .....	6
ABSTRAKT .....	7
1. BEVEZETÉS .....	8
<i>A disszertáció célja</i> .....	9
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS .....	11
2.1. Globális felmelegedés és klímaváltozás .....	11
2.2. Szélsőséges időjárás és következményei .....	14
2.3. Légköri aeroszolok .....	15
2.3.1. Légköri aeroszolok keletkezése .....	17
2.3.2. A légköri aeroszolok kémiai összetétele .....	19
2.3.3. Légköri aeroszolok káros hatásai .....	20
2.4. Közúti közlekedés káros hatásai .....	23
2.5. Kukorica jelentősége .....	28
2.6. Növények levéltrágyázása .....	32
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	33
3.1. A vizsgált növény és helyszín .....	33
3.2. Az alkalmazott eljárások .....	34
3.2.1. Növények koromszennyezése .....	34
3.2.2. Sugárzási jellemzők mérése .....	36
3.2.3. Evapotranszspirométeres mérés és a parcellák kialakítása .....	40
3.2.4. Mikroklíma elemzés.....	41
3.2.5. Növény növekedés-fejlődés alapvető mutatóinak mérése .....	41
3.2.6. A teljes szárazanyag (TDM) és vízhasznosítási együttható (WUE).....	42
3.3. Meteorológiai adatok .....	42
3.4. Statisztikai elemzés.....	43
4. EREDMÉNYEK .....	44
4.1. Időjárási viszonyok és hatásai a kukorica fejlődésére .....	44
4.1.1. Időjárási viszonyok .....	44

4.1.2. Kukorica fejlődése, levélterület-index (LAI).....	46
4.1.3. Összegzés .....	50
4.2. Párolgás alakulása a koromszennyezés hatására .....	54
4.2.4. Összegzés .....	59
4.3. Mikroklíma elemek vizsgálata.....	61
4.3.1. Kukorica állomány léghőmérsékletének vizsgálata.....	62
4.3.2. Kukorica állomány relatív nedvességtartalmának vizsgálata .....	65
4.3.3. Összegzés .....	70
4.4. Sugárzási jellemzők alakulása a koromszennyezés hatására.....	71
4.4.1. Albedó.....	71
4.4.2. Összegzés .....	74
4.4.3. Látens és szenzibilis hő, Bowen-arány .....	75
4.4.4. Összegzés .....	77
4.4.5. Rövidhullámú sugárzási egyenleg alakulása.....	78
4.4.6. A talajra és az állományra jutó energia vizsgálata.....	79
4.4.7. Összegzés .....	81
4.5. Kukorica teljes szárazanyag tartalmának (TDM) vizsgálata.....	81
4.5.1. Évek közötti összehasonlítás.....	81
4.5.2. A korom és a kiegészítő vízellátás hatása a kukorica teljes szárazanyag tartalmára .....	84
4.5.3. Szem szárazanyag vizsgálat .....	88
4.6. A különböző kezelések vízhasznosítási együtthatójának vizsgálata .....	89
5. KÖVETKEZTETÉS.....	94
6. ÖSSZEFOGLALÁS .....	99
7. TÉZISPONTOK.....	102
8. THESES .....	103
9. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK .....	105
10. FELHASZNÁLT IRODALOM .....	108
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	128

## KIVONAT

A disszertáció célja a gépjárművek működése során a légkörbe került káros anyagok hatásainak vizsgálata az út mentén termesztett növényekre, illetve esetleges védekezési lehetőségek e hatások mérséklésére. Vizsgálatunk a légkörből származó növényre jutó koromra (BC) fókuszált, nem a talajból történő felvételének hatására.

Vizsgálatunk során légköri eredetű korommal szennyeztünk kukorica növényt szántóföldi körülmények között Keszthelyen a Pannon Egyetem Georgikon Karának Agrometeorológiai Kutatóállomásán 2010-2012 között. A korom kijuttatását hetente motoros porozóval végeztük  $3 \text{ g m}^{-2}$  dózissal. Vegytiszta kormot alkalmaztunk, hogy a kísérlet ismételhetősége adott legyen. Egyértelmű, hogy ha bármilyen hatást detektálunk, az a teljes kipufogógáz esetében még erőteljesebben jelentkezne, mivel abban a kormon kívül egyéb nehézfémek, és különböző káros szilárd és gáznemű részecskék találhatók.

Vizsgáltuk a kukorica alapvető növény-növekedési mutatóit, mint a növénymagasság, levélterület-index, teljes szárazanyag tartalom, termés szárazanyag. A teljes szárazanyag vizsgálata minden kutatási évben a betakarítás után került meghatározásra. A tenyészidőszakok végén a kapott adatokat statisztikailag értékeltük.

A meteorológiai elemeket, mint a csapadék, léghőmérséklet, szél, stb., a helyszínen található Agrometeorológiai Kutatóállomás és az Országos Meteorológiai Szolgálat adatai biztosították. A kísérleti telepen elhelyezett piranométerek segítségével mértük a kukorica sugárzáselnyelő és -visszaverő képességét, az albedót. Az energiaháztartás elemeit (szenzibilis, látens hő, rövidhullámú sugárzási egyenleg, Bowen-arány, stb.) a szabadföldi mérésekből számoltuk.

Két vízellátás mellett vizsgáltuk a kukorica hibrid reakcióját a szennyezés hatására. Parcellákon a csapadékbevitel biztosította a növényeknek a szükséges vizet. Az öntözés szimulálására evapotranszpirométerekben is neveltünk kukoricát, melynek köszönhetően képet kaphattunk arról, hogy egy melegebb évben, vagy egy csapadékhiányos tenyészidőszakban az öntözésnek lenne-e bármi pozitív hatása.

A disszertáció eredményei közül a legkiemelkedőbbnek az albedó tekinthető. Mindhárom vizsgált évben szignifikáns csökkenést tapasztaltunk a kormozott állományban. Ez megnövekedett sugárzás elnyelést eredményezett, melynek hatására nagyobb volt a növények párologtatása. Ezt támasztották alá a korommal kezelt növények nagyobb párolgás összegei is.

A korom a kukorica növények zöldfelületét tendencia jelleggel mindhárom évben növelte, bár statisztikailag csak egy évben volt igazolható.

A kiegészítő vízellátás pozitív hatással volt a koromszennyezés általi megnövekedett stressz mérséklésére, így az öntözés megoldást jelenthet a korom okozta káros hatások csökkentésében.

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATING THE EFFECTS OF BLACK CARBON POLLUTION ON THE WATER-, ENERGY BALANCE AND SOME OF THE MICROCLIMATE ELEMENTS OF MAIZE**

The purpose of the dissertation is to examine the harmful effects of motor vehicle traffic on maize. During our research, maize plant was contaminated with atmospheric black carbon in field conditions in Keszthely at the Agronomy Research Station of the Georgikon Faculty of Pannon University between 2010 and 2012. The reaction of the maize was examined beside two water supplies due to the pollution. Plants had been grown up under rainfed conditions in field experiments and evapotranspirometers had been applied to simulate effects of unlimited water supply on maize plants.

Soot pollution reduced the albedo of maize significantly. This resulted an increase in energy absorption, which was also demonstrated by the higher net radiation balance of the contaminated canopy. The temperature and relative humidity of treated maize were significantly increased then the control maize in all three years. More intense radiation absorption caused in a significantly higher evaporation in the treated stock. The surplus water use was realised in higher full dry-matter content in the evapotranspirometers.

As a conclusion it can be stated that if natural sprinkling is added to irrigated water in contaminated areas, the negative effects of black carbon can become positive.

## ABSTRAKT

### **DIE UNTERSUCHUNG DER WIRKUNGEN DER RUSSVERSCHMUTZUNG AUF DAS WASSER, ENERGIE UND EINIGE DER MIKROKLIMATISCHEN ELEMENTE VON MAIS**

Das Ziel der Dissertation ist die schädliche Wirkung des Fahrzeuges im Laufe des Verkehrs auf die Pflanzen. Im Laufe unserer Untersuchung wurde die Pflanze „Mais“ auf den Feldern durch Russ verschmutzt, der aus der Luft stammte, in Keszthely auf dem Station Agrometeorologie Pannon Universität Geogikon Fakultät zwischen 2010 und 2012. Zwischen zwei Wasserversorgung wurde die Reaktion des Hybridmais auf die Verschmutzung untersucht. Auf den Feldern wurde durch Regenwasser die nötige Flüssigkeit für die Pflanzen besorgt. Zum Zweck der Simulation des Zusatzwassermenge haben wir Evapotransspirometer angewant.

Die Russverschmutzung verminderte das Albedo von Maispflanzen signifikant. Diese Reaktion zeigte sich im Erhöhen der Absorption von Energie, dieses Ergebnis bewies auch das netto Strahlungsgleichgewicht des Russbestandes. Die Temperatur und der relative Feuchtigkeitsgehalt in jedem drei Jahr erhöht.

Die höhere Strahlungsaufnahme erfolgte bedeutend höhere Ausdunstung im Bestand der Pflanzen, die mit Russ behandelt wurde. Im Evapotranspirometer realisierten sich im trockenen Material.

Im Folgenden können wir behaupten, wenn wir die Pflanzen künstlich gießen, also nicht auf natürliche Weise Regen bekommt, dann kann diese negative Wirkung des Russes sogar positiv ändern.

## 1. BEVEZETÉS

A növénytermesztés során a gabonanövények léte helyhez kötött és létük külső tényezők függvénye, melyek közül az időjárás a legmeghatározóbb. A gabonanövények, esetünkben a kukorica fejlődése szempontjából a csapadék, napsugárzás, hőmérséklet a legfontosabb abiotikus tényezők. E tényezők drasztikus változásait a növények hosszú ideig nem képesek tolerálni. A növények nagy fiziológiai plaszticitással rendelkeznek, képesek a megváltozott környezetre reagálni, így elkerülve, vagy csökkentve a stressz által okozott káros hatásokat (Löke, 2004).

Hazánkban a globális felmelegedés hatására az éghajlat egyre szélsőségesebbé válik. Számos kutatás folyt ebben a témakörben (Láng, 2007, Hoyk, 2015), de összhang alakult ki abban a kérdésben, hogy a hőmérséklet emelkedni fog, illetve a csapadékbevitel szélsőségesebben alakul, éven belüli eloszlása változik. Ezekhez a megváltozott időjárási viszonyokhoz kell a növénytermesztésnek alkalmazkodni a különböző agrotechnikai művelés megváltoztatásával, illetve jobb alkalmazkodóképességű fajták alkalmazásával. Az egyre fokozódó éghajlatváltozás miatti szélsőséges időjárás következtében kialakult stressz mellett a növényeknek a környezetszennyezéssel járó hatásokat is el kell viselniük. A növények helyhez kötöttsége miatt a közutak mentén található mezőgazdasági területeken termesztettek a gépjárművek működéséből származó káros hatásokat is elszenvedik. A folyamatos stressz alatt álló növények termésbiztonsága csökkenni fog. A hőmérséklet növekedésénél a csapadékhiány nagyobb gondot fog okozni a növénytermesztésben. A korábbi évtizedekben a havi csapadék maximum időszaka egybeesett a legtöbb növényfaj kritikus vízigényének idejével (Péczely, 1998). A növénytermesztésnek a fent említett szélsőségesebb időjárási hatásokra folyamatos válaszokat kell adnia, melyekhez újszerű vizsgálatok szükségesek.

A közutak mentén található talajban a gépjárműforgalomból származó szennyező anyagok felhalmozódnak és könnyen hozzáférhetővé válnak a növények számára. A talajból történő szennyezőanyag felvételre számos irodalmi forrás található, míg a légkörből származó szennyező anyagok károsításáról kevesebb. Számos tanulmány foglalkozik a faszén (biochar) alkalmazási lehetőségeiről a mezőgazdaságban. A biocharnak lehet a legnagyobb potenciálja a talajban található C hosszú távú mekötésében, mivel akár száz évig is stabil marad a talajban



és alkalmas a jelenlegi agronómiai rendszerekhez való asszimilációra (Lehmann, 2007). A faszén talajhoz adagolása kimutatta, hogy pozitívan csökkenti a talaj  $N_2O$ -kibocsátását (Taghizadeh-Toosi, 2011), elnyomja a növényi betegségeket (Elad et al., 2010), javítja a növények növekedését (Graber et al., 2010; Lehmann et al., 2003), javítja a talaj savasságát (Yuan és Xu, 2011) és stimulálja a talaj mikrobiális aktivitását (Smith et al., 2010; Jones et al., 2011a,b; Lehmann et al., 2011). Jones et al. (2012) kutatása szerint a kijuttatott biocharnak nem volt szignifikáns hatása a kukorica növekedésére, csírázási hatékonyságára, a hajtások megjelenési idejére és a klorofill-tartalomra. Vizsgálatuk bizonyította, hogy nem volt szignifikáns hatása a faszénnek a talaj tápanyagminőségére. Jones et al. (2012) kutatási eredményei arra engednek következtetni, hogy a biocharnak a rendkívül termelékeny mezőgazdasági területhez való hozzáadása nem jár negatív következményekkel a növénytermesztés, a növényi táplálkozás vagy a talajminőség szempontjából, és még kis agronómiai előnyökkel is járhat. Esetünkben a kipufogógázban található légköri eredetű koromszennyezésről szeretnénk egy átfogóbb képet kapni. A korom sok szempontból kiemelkedő tulajdonságú részecske. Képes nagy távolságokra elszállítódni, ott lerakódni, képes megváltoztatni a növények alapvető anyagcsere folyamatait. Nagy abszorber tulajdonsággal rendelkezik, képes elnyelni a beérkező energiát, mely a növények szempontjából fontos, hiszen a naptól jövő energia létfontosságú, hiszen ez a kiindulási alapja a transzspiráció és a fotoszintézis fenntartásának. E két gázcsere folyamatnak a helyszíne a növények levelein található sztóma. A megfelelő produkció a megfelelő sztóma működésnek köszönhető. Itt történik a  $CO_2$ - és a vízgőzforgalom. Ha bármi akadályozza ezt a két folyamatot, annak következményei a növény fejlődésében mutatkoznak meg. A korom ezen felül az üvegházhatásban betöltött szerepe miatt is fontos.

A növények a környezetükkel szoros kölcsönhatásban állnak, így a környezetükben bekövetkező változásokat nem lehet egy-egy paraméterre kivetíteni, a valósághoz közeli eredmény érdekében a folyamatokat, hatásokat összetetten kell kezelni.

### ***A disszertáció célja***

A disszertáció célkitűzése a gépjárműforgalomból származó légköri eredetű korom káros hatásainak vizsgálata volt kukorica növényen. A korom kijuttatásakor a szennyeződést, szemben a korábbi talajon keresztüli kiadagolásokkal, közvetlenül a növények lombzatára juttattuk, mely a gépjárművek kipufogógázából eredő korom-szennyeződést hivatott szimulálni. A növények felületére rakódott korom hatásait vizsgáltuk a kukorica víz- és

sugárzásháztartási és alapvető növényi mutatóira. Az alábbiakban részletezett vizsgálatokat végeztük el szabadföldi körülmények között:

- Szabadföldi körülmények között kukoricaállományok fölé kihelyezett piranométerek segítségével mértük a növények albedóját. A piranométerek az elnyelt és a visszavert sugárzásról gyűjtöttek adatokat.
- Két különböző vízellátás mellett vizsgáltuk a korom káros hatásait, így képet kaphattunk arról, hogy az öntözés hatással van-e a szennyezett növények mutatóira.

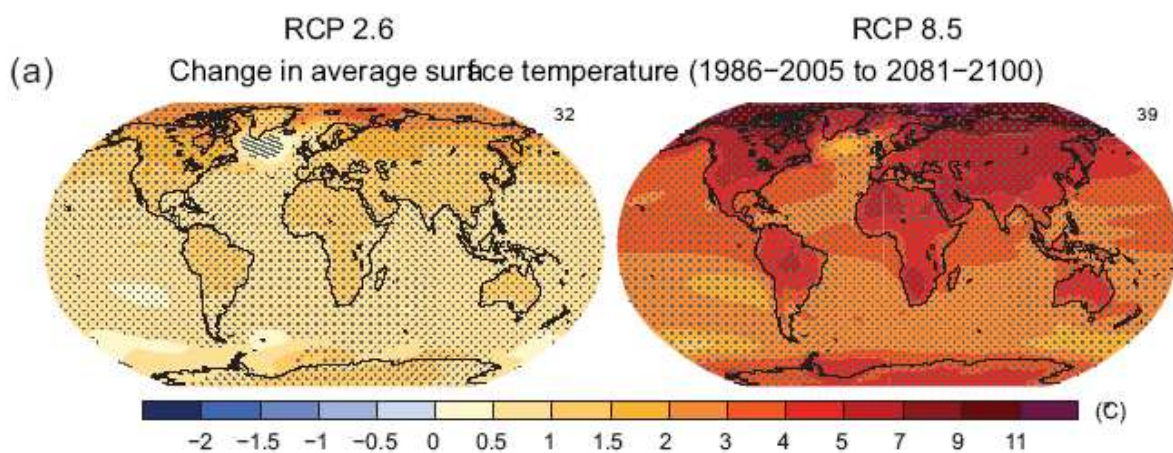
A vizsgálat újdonságát a légkörből lerakódó korom részecskék hatásainak elemzése jelentette kukorica növényen. A légköri eredetű növény-szennyezésről a talajszennyezéssel ellentétben legjobb tudomásunk szerint nincs szakirodalmi feljegyzés.

## 2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

### 2.1. Globális felmelegedés és klímaváltozás

Több évtizede foglalkoztatja az emberiséget a globális felmelegedés és a klímaváltozás. A két fogalmat sokszor ugyanannak tekintik, pedig a globális felmelegedés a földfelszín és az óceánok átlaghőmérsékletének az emelkedését írja le az elmúlt évtizedek megfigyelései alapján. A klímaváltozás – vagy éghajlatváltozás – pedig a hosszú évtizedek természetes folyamatainak a változását vizsgálja, a kiváltó okoktól függetlenül (Conway, 2008). A Föld nagy földrajzi régióinak hőmérséklete az elmúlt 30 év során 0,6°C-kal emelkedett, kétszer olyan gyorsan, mint a globális átlag (IPCC, 2013). Ez a fagyott talaj felengedését okozza, így jelentős mennyiségű szerves szénet bonthatnak a talaj mikrobái, így növelve az üvegházhatású gázok mennyiségét a légkörben (Brown és Romanovsky, 2008; Romanovsky et al., 2010). Ezek a légkörbe került üvegházhatású gázok valószínűleg gyorsabbá teszik az éghajlatváltozást, amit a Föld-rendszer modellek előre jeleznek. A globális éghajlati modellek (GCMs) a 21. században következetesen a klimatológiai szárazság növekedését mutatják (IPCC, 2013; Feng és Fu, 2013; Dai, 2012; Sherwood és Fu, 2014; Huang et al., 2015). A meteorológiai aszályok GCM előrejelzései azonban bizonytalanságot jeleznek és néhány, de nem minden régióban erőteljes növekedésről számolnak be (Burke és Brown, 2008; Orłowsky és Seneviratne, 2013). Ez a bizonytalanság különösen erős következményekkel járhat a szárazföldi régiókban (Huang et al., 2015; D’Odorico és Porporato, 2006), ahol már a víz korlátozottan elérhető (Knapp et al., 2016; Trenberth et al., 2014). A globális szárazföldi területek a 20. században 4-8%-kal bővültek és jelenleg a globális földfelszín 40%-át teszik ki. Az általános szárazság növekedésének megfigyelései ellenére a 20. század második felében a szélsőséges aszályos események előrejelzései bizonytalanságot mutatnak (IPCC, 2013; Sherwood és Fu, 2014; Trenberth et al., 2014; Milly és Dunne, 2016). A modell előrejelzések egyetértenek abban, hogy a szárazföldi területek tovább fognak bővülni a 21. században (IPCC, 2013; Feng és Fu, 2013; Dai, 2012; Huang et al., 2015; Trenberth et al., 2014). A párolgási igény növekedése és a globális hidrológiai ciklus miatt hosszabb és súlyosabb száraz időszakokkal kell számolni (Trenberth et al., 2014; Marvel és Bonfils, 2013; Wu et al., 2015). A szárazföldi területek nettó terjeszkedése

csökkentheti az ökoszisztéma-szolgáltatásokat és hatással lehet az emberi megélhetésre (MAE, 2005), a vízhiányra (Prudhomme et al., 2014; Schewe et al., 2013), a növényzet élőhelyeinek szűkülésére (Allen et al., 2010) és a földterület romlására (Ruppert et al., 2015), amelyek mindegyikét súlyosbítja az emberi földhasználat (Sterling et al., 2013). Nem a globális felmelegedés a legfontosabb probléma, hanem annak az üteme. Míg a korábbi felmelegedések időszaka 50-100 ezer éves időintervallumot ölelnek fel, addig napjainkban 20 év alatt rekord gyorsasággal növekszik az átlaghőmérséklet (1. ábra). Ezt bizonyítja az, hogy a 20 legmelegebb év közül 19 az 1980-tól eltelt időszakban következett be. Ehhez hozzájárul az is, hogy a korábbi jelenségek alapján, a nap ciklusai, valamint a vulkáni tevékenység szerint Földünknek nem melegednie, hanem hűlnie kellene (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2014). Az előrejelzések pedig nyugtalanítóak, ugyanis a legfrissebb kutatások szerint a globális felmelegedés még gyorsabb lehet a vártnál, vagyis 2100-ra már 4 Celsius-fokkal is növekedhet a Föld átlaghőmérséklete, ami az eddig kritikusnak tartott érték kétszerese.



**1. ábra** A 21. században várható hőmérsékletnövekedés értékeinek területi különbségei  
(Forrás: IPCC, 2014)

Brit és amerikai kutatók szerint a szén-dioxid kibocsátási kvóták sem lassíthatják a folyamatot, sőt a kibocsátás teljes leállítását sem tudná visszafordítani a globális felmelegedést. A felszíni hőmérséklet nem állna vissza az iparosodás előtti szintre, az óceánok szintje is tovább emelkedne még évszázadokon keresztül, így hozzávetőleg ezer év szükséges ahhoz, hogy visszajussunk a „kiindulási” állapotba (Cicerone-Nurse, 2014).

A globális felmelegedés legfontosabb rizikófaktorait az IPCC 2013-as jelentése az alábbiak szerint foglalja össze:

- Éghajlati zónák eltolódása, amely hatására nő a hóhullámok száma és egyenetlen lesz a csapadékeloszlás;
- Gleccserek olvadása, amely Közép-Ázsia, Közel-Kelet és Afrika ivóvíz ellátását veszélyezteti;
- A globális átlaghőmérséklet növekedése, közel 4 Celsius-fokkal az évszázad végéig;
- A tengerszint növekedése, akár 27-82 cm-rel 2100-ig;
- Az óceánok savasodása, amely tengeri élőlények kipusztulásához vezethet.

Az 1992-ben elfogadott és 1994-ben életbe lépett ENSZ Éghajlat-változási Keretegyezménye nem kötelező jelleggel, de már előírta az üvegházgáz kibocsátások korlátozását. Az egyezményben megfogalmazott korlátozások a fejlett országokra vonatkoztak. Ehhez az egyezményhez kapcsolódik a Kiotói jegyzőkönyv, melyben már jogilag is vállalták a fejlett országok, hogy kibocsátásukat 2008-2012-es időszakra vonatkozóan 5,2%-kal csökkentik az 1990-es szinthez képest. 2012-ben pedig a Kiotói jegyzőkönyv 2020-ig történő meghosszabbításáról döntöttek. A globális felmelegedés számos káros következménye mellett a gazdasági hatásai is jelentősek, állította Sir Nicholas Stern. A globális felmelegedés tényét sok kutatás bizonyítja, köztük egy igazán megdöbbentő állítás szerint Európában 2003-ban 26 ezer ember halálát közvetlenül a hőségnek tudták be, mely a klímaváltozással jár (Láng, 2007). A természet folyamatos jeleket küld számunkra, hogy ezzel az iparosodási tempóval hamarosan komoly problémákkal kell szembesülnünk. A légkörben ugrásszerűen növekednek az üvegházhatású gázok (szén-dioxid, metán, nitrogén-oxid, stb.), az átlaghőmérséklet folyamatosan növekszik (sorra dőlnek meg a melegrekordok), a tengerek hőmérséklete növekszik, így élőhelyek tűnhetnek el, élőlények vándorolnak el megszokott élőhelyeikről, gleccserek zsugorodnak, tartós aszályok, áradások jelentkeznek. A környezeti problémák élén napjainkban az éghajlatváltozás áll (Boros, 2010). Leginkább a primer szektorhoz tartozó mezőgazdasági, erdészeti, halászati nemzetgazdasági ágazatok, melyek a legjobban elszenvedik az éghajlatváltozás kedvezőtlen hatásait.

### ***Globális felmelegedés okai***

A globális felmelegedést nem kizárólagosan antropogén hatásoknak tulajdonítják. Vannak a természetben előforduló jelenségek, melyek szintén a globális klímaváltozás okai lehetnek. Viszont a kutatók többsége úgy véli, hogy a több jelenség egyértelműen antropogén

eredetű, vagyis emberi beavatkozás következménye (Molnárné és Molnár, 2015). Az üvegházhatású gázok jelenléte nélkülözhetetlen az emberi létezéshez, a természetes üvegházhatás nélkül Földünk átlaghőmérséklete 33°C-kal kevesebb lenne, így az élet ki sem alakulhatott volna. Viszont bizonyos gázok feldúsulhatnak emberi tevékenység következtében. Az IPCC kutatói szerint a Föld átlaghőmérséklete az elmúlt 100 évben 0,8 Celsius-fokkal emelkedhetett (Climate change, 2013).

Az iparosodás felgyorsulásával az antropogén kibocsátások ugrásszerűen megnövekedtek. A népesség folyamatosan növekedésével a szükségletek kielégítése is növekszik. E növekedéshez több mezőgazdasági területre volt szükség, mely erdőirtásokhoz vezetett. Az erdők a légkör természetes tisztítói, mely hiányában még több szén-dioxid kerülne a légkörbe. Ezek az ugrásszerű változások különböző vizsgálatokkal bizonyíthatók (ENSZ, 1999). Az IPCC ötödik jelentése szerint legalább 95% a valószínűsége, hogy az ember felelős az éghajlatváltozásért. A fosszilis tüzelőanyagok elégetése, a föld használatának megváltozása, az erdőirtások mind hozzájárultak a negatív tendenciák felgyorsulásához (Kerényi, 2003; Rakonczai, 2008).

## **2.2. Szélsőséges időjárás és következményei**

Szélsőséges időjárási jelenségek negatív hatásai egy multifaktoros problémakört jelentenek. A hatások több csoportra bonthatóak. Egy részük már viszonylag rövidtávon éreztetik hatásukat (pl. az emberek egészségi állapotára hatnak), más részük viszont indirekt módon fejtik ki negatív befolyásukat, hosszú időszakot felölelően (Molnár és Molnárné, 2015). Az elmúlt években számos szélsőséges időjárási katasztrófa részben vagy teljesen negatívan befolyásolta a regionális növénytermesztést (Battisti és Naylor, 2009; Berriopedro et al., 2010; Coumou és Rahmstorf, 2012). A szélsőséges időjárási katasztrófák hatásainak regionális beszámolóit léteznek, az aszályok, az áradások és a szélsőséges hőmérsékletek növényekre gyakorolt globális hatásait azonban még nem számszerűsítették. 1964-2007 között a gabonatermesztés veszteségeiről már tudomása van az egész világnak. Kimutatták, hogy az aszályok és az extrém hő jelentősen csökkentette a nemzeti gabonatermesztést 9-10%-kal, míg elemzésük nem tudta azonosítani az árvizek és a szélsőséges hideg hatását a nemzeti adatokban (Lesk et al., 2016). Lesk et al. (2016) kutatásuk során azt tapasztalták, hogy az aszály okozta termelési veszteségek a betakarított terület és a hozamok

csökkenéséhez kapcsolódnak, míg a szélsőséges hő főleg a gabona hozamát csökkentette. Ezenkívül eredményeik azt mutatták, hogy a fejlett országokban a termelésből származó károk több, mint 7%-kal, a fejlődő országokban pedig 8-10%-kal több kárt okoznak (Lesk et al., 2016). A különböző kutatások is bizonyítják, hogy a globális felmelegedésnek várható hatásai inkább negatívak, mint pozitívak. Egyetértés látszik abban, hogy a várható hatások (áradás, aszály, hőhullámok, stb.) intenzitása és gyakorisága nőni fog, de térben és időben eltérő mértékben (Porter et al., 2014). A magyarországi éghajlatváltozás kutatásban a VAHAHA-projekt (Változások – Hatások – Válaszok) a legátfogóbb elemzés napjainkig a várható hatásokról. Ez és a Klíma-21 Füzetekben közzétett kutatások számos szempontból megvizsgálták a kritikusként vélt szektort, köztük a mezőgazdaságot is. Az eredmények arra mutatnak, hogy a Kárpát-medence éghajlata egyre szárazabb lesz, melyet szélsőséges csapadékeloszlás fog kísérni (Láng, 2007, Láng, Csete és Jolánkai, 2007; Harnos és Csete, 2008). Ennél részletesebb Hoyk (2015) kutatása, aki éghajlatmodelleket hasonlított össze a Kárpát-medencére vonatkoztatva. 4 modellt hasonlított össze, melyek egyetértenek abban, hogy a hőmérséklet emelkedni fog. Emelkedni fognak a forró napok számai, többször lesznek hőségriadós napok. Összességében a nyári csapadék csökkenése várható. Az éghajlatunk változását leginkább a szélsőséges jelenségek révén fogjuk érzékelni. Gyakoribb hőhullámok, heves esőzések, forró napok, erősödő szelek fogják jellemezni a Kárpát-medence éghajlatát (Hoyk, 2015).

A klímaváltozás következtében egyre melegebbek lesznek a nyarak. Egyre többször alakul ki a nyári szmog, megemelkedik a földközeli ózon és a szálló por. Ezen káros hatásoknak az emberi egészségre számos negatív következményei vannak, melyek például a különböző légzőszervi megbetegedések, melyek hatására gyulladások alakulhatnak ki, növekszik az asztmás megbetegedések száma, többször alakul ki hörghurut (Molnár és Molnárné, 2015). Napjainkban közel kétszer annyi asztmás beteg van, mint 30 évvel ezelőtt és a gyerekek idegrendszeri, valamint a magzatok fejlődésére is káros hatással van ez a jelenség (WHO, 2013).

### **2.3. Légköri aeroszolok**

A légköri aeroszolok (PM, particulate matter) közé sorolható a gépjárművek működéséből származó korom is. Az aeroszol a levegőben finoman eloszlott szilárd és cseppfolyós részecskék kolloid diszperz rendszere (Gieré és Querol, 2010).

Az aeroszol részecskék legfontosabb tulajdonsága a részecskék mérete, mely a csoportosításuk alapja. Vannak folyadék részecskék, melyek leginkább gömb alakúak, viszont a szilárd részecskék formája szabálytalan is lehet. A méretek egységesítése érdekében bevezettek egy idealizált méretet, melyet ekvivalens aerodinamikai átmérőnek (EAD) nevezünk, melyen egy olyan egységnyi, vízzel azonos sűrűségű gömb alakú részecske átmérőjét értünk, amelynek az aerodinamikai viselkedése a levegőben megegyezik a kérdéses részecske viselkedésével (Hinds, 1982). A részecskék átmérőjén továbbiakban ezt az átmérőt kell érteni.

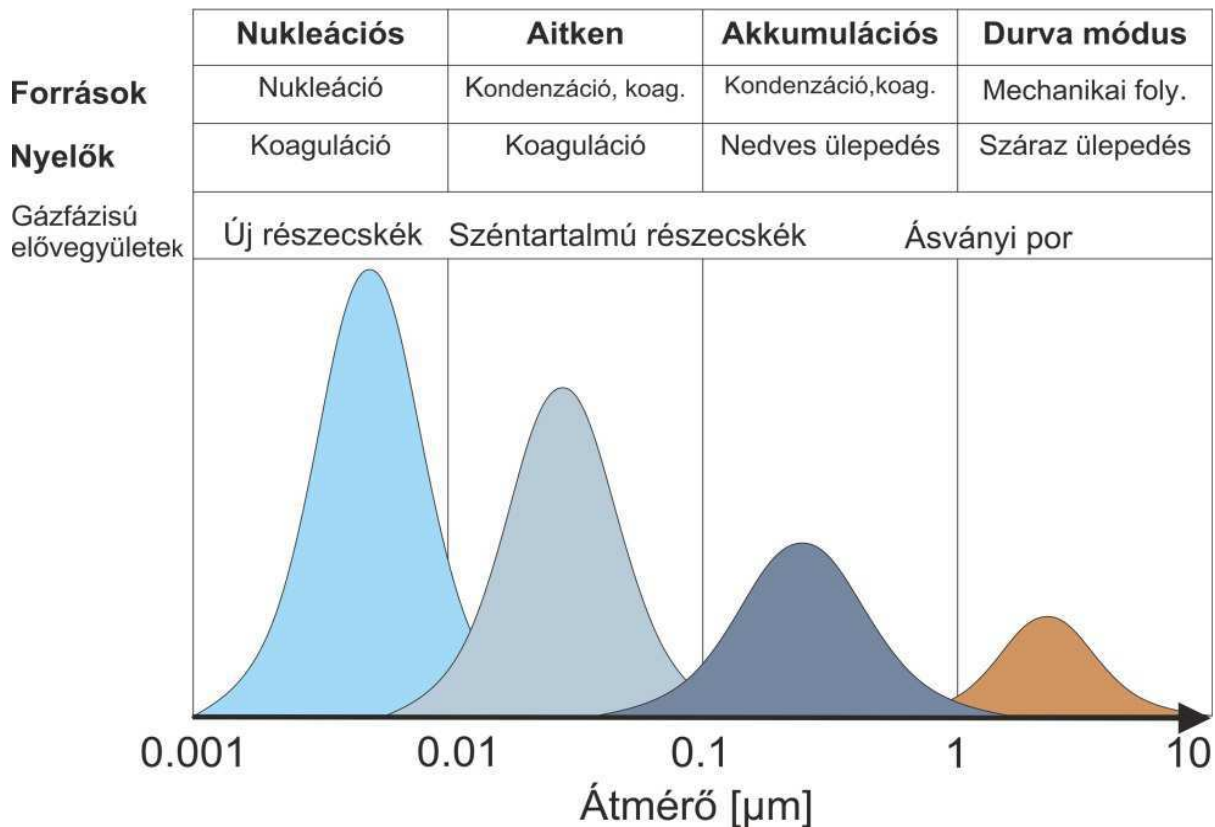
A légköri aeroszolok méreteloszlása nagyon tág határok között mozog. Néhány nanométertől 100 mikrométerig terjedhet, ezt a határt az ülepedési sebességük határozza meg. Két nagy csoportot különböztetünk meg: finom és durva tartományt. 1  $\mu\text{m}$ -nél nagyobb részecskéket a durva tartományba, az ennél kisebb részecskéket a finom tartományba soroljuk (Whitby, 1978). Ez a két nagy csoport nagyon sok szempontból eltérhetnek egymástól. Ezek lehetnek:

- összetétel,
- keletkezésük szerint,
- légköri folyamatukban betöltött szerepük szerint,
- tartózkodási idejük szerint,
- kémiai és fizikai tulajdonságaik szerint (Seinfeld és Pandis, 2006).

A részecskék méreteloszlása szerint kezdetben 3 részre bontották, de napjainkban inkább négy féle osztályozás alakult ki (1. kép): nukleációs zóna ( $<0,01 \mu\text{m}$ ), Aitken zóna ( $0,01-0,1 \mu\text{m}$ ), akkumulációs zóna ( $0,1-1 \mu\text{m}$ ) és a durva zóna ( $>1 \mu\text{m}$ ) (Whitby, 1978; Raes et al., 2000). Az első két zónába tartozó részecskéket ultrafinom részecskéknek nevezzük és az első három zónába tartozó részecskék együttesen finom részecskéknek.

A tartózkodási idejük is változó attól függően, hogy mekkora részecskéről beszélünk (Jaenicke, 1978).





**1. kép** A légköri aeroszol részecskék méreteloszlása és a különböző zónák között végbemenő folyamatok (Forrás: Utry, 2015 alapján)

### 2.3.1. Légköri aeroszolok keletkezése

Keletkezésük szerint az aeroszol részecskék lehetnek elsődlegesek és másodlagosak. Az elsődleges részecskék közvetlenül kerülnek a levegőbe, míg a másodlagos részecskék a légkörbe került anyagok kémiai reakciója révén létrejött részecskék. A durva részecskék elsősorban természetes eredetűek, viszont a finom részecskék nagyrészt antropogén eredetűek (Mészáros, 1997; Bozó et al., 2006).

Természetes eredetű aeroszolok származhatnak vulkáni működés során a légkörbe került hamuból, talajerózió, kőzetek mállása során, valamint a szél eróziója során. Ezeken felül még léteznek biológiai eredetű aeroszolok is, például gombák, spórák, vírusok, stb. (Andreae és Crutzen, 1997; Claeys et al., 2010). Az erdőtüzekből származó légkörbe került részecskéket is a biológiai aeroszolok közé sorolhatjuk, melyek nagyon gyorsan nagy mennyiségben képesek a terület légköri aeroszol mennyiségét növelni. Az óceánok felől is

érkeznek a légkörbe részecskék, melynek leggyakoribb módja a gázbuborékok szétrobbanása a tengerek felszínén (Woodcook, 1953). Az itt felsorolt természetes aeroszolok elsődleges eredetűek. A másodlagos természetes eredetű aeroszol részecskék a növények által kibocsátott illékony szerves gázokból képződő szerves aeroszol, illetve az óceánokban egyes algafajok által kibocsátott dimetil-szulfid oxidációja során keletkező szulfát aeroszol (Andreae és Critzen, 1997; Claeys et al., 2010).

A természetes eredetű aeroszolok mellett az antropogén eredetű források is lehetnek elsődlegesek és másodlagosak. Antropogén jellegű forrás a különböző égési folyamatok, melyek során egyaránt keletkeznek finom és durva részecskék (Mitra et al., 2002).

A legjelentősebb antropogén eredetű elsődleges források közé az ipar, a mezőgazdaság és a **közlekedés** (Colville et al., 2001), a biomassza és a fosszilis tüzelőanyagok égetése (Mitra et al., 2002) tartozik. E források során a másodlagos aeroszol részecskékhez szükséges szerves gázok és illékony szerves vegyületek szabadulnak fel, illetve esetünkben a legfontosabb a tökéletlen égetés során jelentős mennyiségű **koromrészecske** kerül a légkörbe (Rogge et al., 1993; Graham et al., 2002).

A fosszilis tüzelőanyagok elégetése során felszabaduló égéstermékek és az egyéb ipari tevékenységek még tovább növelik a légszennyező anyagok koncentrációját. Az antropogén (ipari) légszennyezés az ipari forradalom óta jelentős méreteket öltött, ezt növeli a mezőgazdasági tevékenységből és a háztartások „működéséből” fakadó légszennyezés. A széntüzelésű erőművek is jelentősen hozzájárulnak a szén-dioxid kibocsátás növekedéséhez (Molnár és Molnárné, 2015).

Az elsődleges aeroszol részecskék elsősorban diszperziós folyamatok során jutnak a légkörbe és többségük a durva zónát alkotja. A finom részecskék többnyire másodlagosan alakulnak ki nukleációs, kondenzációs és koagulációs folyamatok során. A nukleációs zónában a nagyon finom részecskék gőzök nukleációjával alakulnak ki. E folyamat során néhány molekula összetapad, de szét is esik. Nukleáció során a kevésbé rendezett fázisból (gőz) a tér bizonyos pontjain rendezettebb fázis (folyadék, szilárd) alakul ki. Ez a folyamat lehet homogén, amikor csak a kondenzálódó gőzök vesznek részt a folyamatban, és lehet heterogén, amikor a kondenzáció meglévő részecskék felületén megy végbe (Kulmala, 2003; nimbus.elte.hu). A nukleációs zóna után a részecskék termikus koagulációval, vagy az ezeken történő kondenzációval jönnek létre. E részecskék az Aitken zónában találhatók. Majd e két zóna részecskéi gyorsan növekednek termikus koagulációval az akkumulációs tartományig,

majd ott összegyűlnek. Az akkumulációs részecskék egyrészt gőzök kondenzációjával növekednek, másrészt a részecskék vízfelvétellel való aktiválódását követően a vizes fázisban abszorbeálódott gázok reakcióinak termékei a víz elpárolgását követően növelik a részecskék eredeti méretét (Mészáros, 1997; Kulmala et al., 2004).

A légköri aeroszol részecskék keletkezési és ülepedési folyamatai a részecskék méretétől függ. Az aeroszol részecskék kikerülése a légkörből a méretük függvénye, történhet száraz és nedves ülepedéssel. A nagyság szerinti eloszlásukat a légkörben két alapvető dinamikai hatás, a koaguláció és a gravitáció miatti ülepedés módosítja. A gravitációs ülepedés inkább a durva részecskék légkörből való kikerülését segíti elő, míg a koaguláció a finom részecskék koncentrációját csökkenti a légkörben. A turbulens diffúzió miatti száraz ülepedés a finom részecskéket vonja ki a légkörből. A 0,1-1  $\mu\text{m}$  közötti részecskék tartózkodási ideje a legnagyobb (8-10 nap), ezen elemek a csapadékelemekkel együtt, nedves ülepedés során hagyják el a légkört (Mészáros, 2001).

### 2.3.2. A légköri aeroszokok kémiai összetétele

A légköri aeroszokok kémiai összetétele függ az aeroszol forrásától, a levegőben történő kémiai átalakulásoktól és a meteorológiai viszonyoktól egyaránt (Lightly et al., 2000; Amodio et al., 2009). A durva és a finom részecskék összetétele különbözik egymástól.

A durva részecskék forrása leginkább a felszín aprózódása, így ezek a részecskék elsősorban a talajt és kőzeteket felépítő anyagokból állnak. Megtalálható benne kvarc, dolomit, agyagásványok, alumínium-szilikátok, -oxidok, -hidroxidok, kalciumvegyületek (Zhang et al., 2010; Klaver et al., 2011). Az összetételben elsősorban a szilícium és az alumínium játszanak meghatározó szerepet a talajokban és a kőzetekben található szilikátok miatt. Az óceánok felett a durva részecskéket tengeri sókristályok alkotják, ezek mellett magas a szulfát tartalma is (Mészáros, 1997; Claeys et al., 2010). A durva aeroszokokban ezen felül még megtalálhatók az előzőekben említett biológiai aeroszol részecskék is.

A finom aeroszol részecskék kémiai összetétele a szulfát, az ammónium és különböző szerves vegyületek dominálnak, de kisebb mértékben nitrát- és fémvegyületek, valamint elemi szén is mérhető bennük. Főként antropogén eredetű a szulfát, mely elsősorban a kén-dioxid és a dimetil-szulfid oxidációja során keletkezik. Földünk kén kibocsátása 60-80%-ban származik

antropogén forrásból, melyek közül a fosszilis tüzelőanyagok égetése dominál, de ez mellett a biomassza és a mezőgazdasági hulladék égetéséből, fémkohászatból és a hajózásból származhat (Chuang et al., 1997; Junge, 1963; Andreae és Rosenfeld, 2008). Kén-dioxid természetes úton vulkáni működés során kerül a légkörbe. A nitrát és fémvegyületek jelenléte csaknem teljes mértékben a közlekedés, az energia- és ipari termelés hatásának köszönhető. Ólom, kadmium, cink, vanádium, nikkel, króm található a finom aeroszol részecskék között. Réz a színesfémkohászat révén kerül a légkörbe, vanádium pedig az olajtüzelésből (Allen et al., 2001; Pacyna, 1998). Az aeroszol összes széntartalma két fő összetevőből tevődik össze: grafit jellegű szén és szerves anyag. A grafit jellegű szenet elemi szénnek hívjuk, de ha optikailag szeretnénk meghatározni, akkor **koromnak**, vagy fekete szénnek nevezzük (Gelencsér, 2004; Andreae és Gelencsér, 2006). A korom részecskék felületén sokféle rákkeltő poliaromás szénhidrogének képesek megkötődni. Elsősorban a dízel üzemű gépjárművek működése során kerül a légkörbe, illetve a fosszilis tüzelőanyagok és biomassza tökéletlen égetéséből (Seinfeld és Pandis, 2006; Snyder et al., 2010). A gépjárművekből származó kibocsátások jelentősen befolyásolják az adott légkör finom aeroszol mennyiségét. Közvetlen forrásként kerülnek a légkörbe a kipufogógázzal (Mulawa et al., 1997; Sagebiel et al., 1997), a gumibroncsok és fékek használat közbeni kopásából (Garg et al., 2000), az útburkolat részecskéinek felferődéséből (Kupiainen et al., 2005). A közvetett források közé azok a reakcióképes gázok, szerves és szervetlen alkotók tartoznak, melyek a légkörben átalakulva másodlagos aeroszolókat képeznek. Az óceánok felett található finom részecskékben klór található. Hazánkban is előfordul klór a vegyipari kibocsátásból és téli időszakban az utak sózásából (Han et al., 2007; Patra et al., 2008).

Az aeroszol szervetlen komponensei és forrásaik viszonylag jól ismertek, viszont az aeroszol részecskék jelentős része szerves vegyületekből épül fel, de a szerves vegyületek összetételére vonatkozó ismeretek hiányosak (Rogge et al., 1993).

### 2.3.3. Léggöri aeroszokok káros hatásai

A léggöri aeroszol számos területen fejt ki káros hatását, melyek a globális éghajlati hatás, az emberi egészségre és a környezetre gyakorolt káros hatás. Továbbá még az ipari területeken a látótávolság csökkenésének hatása, de károsítja ezek mellett az épített környezetet is (Horváth, 1992; Molnár és Gácsér, 2011).

Az aeroszol részecskék befolyásolják a légkör hőmérsékletét. Közvetlen hatásként képesek elnyelni és visszaverni a beérkező napsugárzást, valamint a hosszuhullámú sugárzás emitterei. A szórás esetén a részecskék a besugárzott napfényt változatlan hullámhosszon újra kisugározzák, viszont ez a kisugárzás más-más intenzitással a tér minden irányában észlelhető, ezáltal hűti a légkört. Szórásra leginkább a finom részecskék közül azok képesek, amik 0,1-1  $\mu\text{m}$  mérettartományba esnek. A szulfát, a nitrát és a szerves szén főként nem elnyelő részecskéket tartalmaznak, így ezek a szórással direkt módon csökkentik a felszín elérő rövidhullámú energia mennyiségét (Pilinis et al., 1995).

Az abszorpció során a sugárzási energia a részecskékben hővé, vagy kémiai energiává alakul. Ez a folyamat a szórással ellentétben fűti a légkört. A korom részecskéknél, talajeredetű és ásványi anyagokat tartalmazó aeroszol részecskéknél figyelhető meg az abszorpció (Rosen et al., 1978).

Indirekt hatása az aeroszoloknak a felhők mikrofizikai tulajdonságainak befolyásolása, ennek következtében sugárzás-visszaverő képességük (albedó), mennyiségük és élettartamuk változik.

Steiner és Chameides (2005) kutatásai megmutatták mind az aeroszol által indukált sugárzás (vagyis a fény mennyiségének változása és felosztása), mind a termikus (vagyis a felületi hőmérséklet változása) jelentősen befolyásolja a növényi transzspirációt és termelékenységet. Az aeroszokok egészségre gyakorolt hatásáról számos kutatás áll rendelkezésre (Polichetti et al., 2009; Perrone et al., 2010). Az aeroszokok egészségkárosító hatása leginkább a forgalmas nagyvárosok és iparterületek feletti szennyezett levegőjében jelentkezik, ahol a legtöbb ember is él (Curtis et al., 2006). Általában légzőszervi megbetegedések jelentkeznek, de nagyban befolyásolja a károsítás mértékét az egyén életkora, egészségi állapota is. Az egyes káros hatások az expozíció függvényében fokozódnak. Az 1980-as évek óta népszerű a 10  $\mu\text{m}$  átmérőjű por ( $\text{PM}_{10}$ ) részecskék fogalma és számos eszköz került kidolgozásra e részecskék koncentrációjának és kémiai összetételének mérésére. De az elmúlt évtizedben a „nagy kockázatú” kisebb méretű,  $\text{PM}_{2,5}$ , vagy akár az „ultrafinom”  $\text{PM}_{0,1}$  részecskék kerültek előtérbe (Mark, 1998; Schwartz és Neas, 2000; Loomis, 2000; Donaldson et al., 1998). Az aeroszokok mérete az expozíció szempontjából is nagyon fontos, mert a  $\text{PM}_{10}$  (10  $\mu\text{m}$ -nél kisebb részecskék) a bronchusokba (hörgők), a  $\text{PM}_{2,5}$  (2,5  $\mu\text{m}$  alatti aeroszol részecskék) a bronchiolusokba (hörgőcskék) és az alveolusokba (tüdőhólyagocskák) is eljut, innen pedig a keringési rendszerbe jutnak (Heyder

et al., 1986; Magyar, 1998; Oberdörster et al., 2005). A 10 µm-nél nagyobb részecskék is belélegezhetőek, de ezek olyan nagyok, hogy az orrban vagy a szájban, de legkésőbb a gégefőnél elakadnak, nem jutnak mélyebbre. A növekvő felismerés, hogy a 10 µm-es vagy annál kisebb aerodinamikai átmérőjű részecskék kedvezőtlen hatással lehetnek az emberi egészségre, számos iparosodott országban fokozta a PM<sub>10</sub> tömegkoncentrációjának ellenőrzését (Hitchins et al., 2000; Turnbull és Harrison, 2000; Cheng et al., 2000; Pless-Mulloli et al., 2000). A monitoring azonban főként a városi területekre koncentrálódik. Az aeroszolok egészségkárosító hatását leggyakrabban epidemiológiai vizsgálatokban, vagy laboratóriumi in vivo – kontrollált humán, állati, valamint növényi expozíciós vizsgálatokkal, és in vitro – sejt vizsgálatokkal tanulmányozták.

A jelenleg hatályos levegő minőségéről szóló 2008/50/EK irányelv a szálló poron (PM<sub>10</sub> és PM<sub>2,5</sub>) kívül a kén-dioxidra, nitrogén-dioxidra, benzolra, szén-monoxidra, ólomra, a troposzféra ózontartalmára ír elő rendelkezéseket. Az irányelv határértékeket és céldátumokat határoz meg a szálló por koncentrációjának csökkentésére. Az irányelv hatályba lépésével Magyarországon is határértéket kapott a PM<sub>10</sub>. Az új irányelv a már a PM<sub>2,5</sub>-re is kiterjeszti a szabályozást, erre azonban határértéket továbbra sem rögzít. Első lépésben a célérték meghatározása történt, 2010-től a teljesítendő célérték a 25 µg/m<sup>3</sup> egy naptári évre, 2015-től azonban a 25 µg/m<sup>3</sup> már kötelező határérték előírás lesz. Indikatív határérték a 20 µg/m<sup>3</sup>, amelyet 2020. január 1-jére kell teljesíteni (4/2011 (I.14.) VM rendelet 1. melléklete alapján). Az egyes évekre vonatkozó tényleges határértékeket a 2011/850/EU Bizottsági Végrehajtási Határozat I. melléklete tartalmazza.

Az aeroszolok egészségre gyakorolt hatása szempontjából fontos az expozíció időtartama, ezért megkülönböztetünk napi, illetve éves határértéket. A 2008/50/EK irányelv XI. melléklete tartalmazza a különböző légszennyező anyagokra vonatkozó egészségügyi határértékeket. A PM<sub>10</sub>-re vonatkozó egy napi egészségügyi határérték (24 órás átlag): 50 µg/m<sup>3</sup>, az éves 40 µg/m<sup>3</sup>. Az irányelv szerint egy naptári évben meghatározott számú naponál többször nem lehet túllépni az egészségügyi határértéket. Ez a PM<sub>10</sub> esetében a napi maximumot legfeljebb 35 alkalommal lehet túllépni egy évben. Magyarország ezt sokszor túllépi, legtöbbször Budapesten és térségében, a Sajó völgyben, Nyíregyházán és Szegeden.

A WHO és az ENSZ Egészségügyi Világszervezet határértékei a hazainál szigorúbbak (PM<sub>10</sub>: 20 µg/m<sup>3</sup>, PM<sub>2,5</sub>: 10 µg/m<sup>3</sup>). Hangsúlyozzák, hogy nincs olyan alacsony határérték,

ami ne jelentene kockázatot, így inkább arra kell törekedni, hogy minél inkább csökkentsük a mennyiségüket a légkörben.

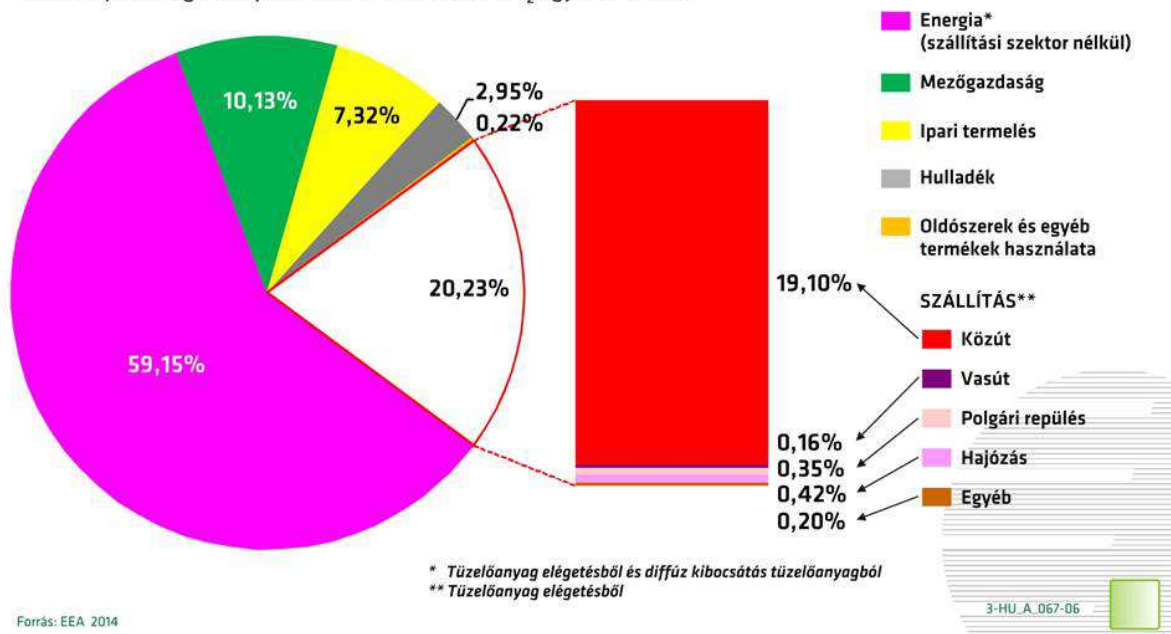
## 2.4. Közúti közlekedés káros hatásai

A környezet változása – beleértve az éghajlatot is – és az ezeket befolyásoló emberi tevékenységek kapcsolatban állnak a társadalommal, a gazdasággal. A közlekedésnek a természeti, a gazdasági és a társadalmi környezet által definiált térben kell megfelelnie, úgy hogy a növekvő társadalmi igényeket környezetkímélő módon elégítse ki (Tánczos, 1994). Az elmúlt évszázadban a tudományos és technikai fejlődés robbanásszerűen növelte a környezetbe történő káros beavatkozásokat. A növekvő igényeket ki kellett elégíteni, mely óhatatlanul is károsította a környezetet, ugyanakkor a túlélés elemi feltételei közé tartozik a környezetszennyezés csökkentése (Gion és Szilvási, 1979). Ennek a megoldása a folyamatos műszaki fejlesztés, anyagtakarékos technológiák alkalmazása, megújuló energiaforrások hasznosítása, környezetkímélő közlekedés megvalósítása.

Az üvegházhatású gázok nagy része a fosszilis tüzelőanyagok (kőolaj, földgáz, fekete és barna kőszén, lignit) elégetése révén kerül a levegőbe. A légköri szennyezés jelentős része közlekedés eredetű, mely szektoron belül a közúti közlekedés a legnagyobb károsító (Török, 2008). Markáns figyelmeztetés a közlekedési szektornak, hogy napjainkban a közlekedés csaknem 15-35%-ban tehető felelőssé az üvegházhatású gázok kibocsátásáért. Az üvegházhatású gázok kibocsátásának javulása történt 1990 és 2005 között az ipari és a nem energia felhasználással kapcsolatos szektorokban. Viszont ebben az időszakban a közlekedésből származó kibocsátás az EU-27 országokban szignifikánsan emelkedett, a közúti fuvarozás iránti igény növekedése miatt (2. kép) (EUROSTAT, 2007).

## Az üvegházhatású gáz kibocsátás megoszlása szektoronként az EU28-ban - (2011)

Globális felmelegedési potenciál millió tonna CO<sub>2</sub> egyenértékben



**2. kép** Az üvegházhatású gáz megoszlása energetikai szektoronként az EU-28-ban (2011)  
 (Forrás: Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. alapján)

A közlekedéstudományi Intézet vizsgálatai is jól tükrözik, hogy a közlekedés, és azon belül is a közúti közlekedés előkelő helyet foglal el a Föld üvegházhatású gázainak növekedése szempontjából.

Az utak mentén található növények mindig ki vannak téve a gépjárművek működéséből származó szennyezésnek. E szennyezések befolyásolják az út menti növények növekedését és fotoszintetikus aktivitását (Yaqub et al., 2015). A különböző gázok, részecskék, és illékony szerves vegyületek lerakódnak a növények leveleire és befolyásolják azok növekedését (Bell et al., 1992). A gáznemű szennyező anyagok a levelek kutikula rétegén keresztül bejutnak a növények anyagcsere folyamataiba, így fejtve ki károsító hatásukat. Ishaq et al. (2012) is kimutatták, hogy az út menti növények folyamatos stressz alatt állnak a közlekedés miatti szennyezés kibocsátás miatt. Az autók kipufogógázai által kibocsátott szennyező anyagok negatívan befolyásolják a növények belső reakcióit, mint pl. a metabolizmusukat. Van, amikor látható tünetek nem is jelentkeznek a növényeken (Viskari et al., 2000). Pakisztáni közúti közlekedésből származó szennyezések hatását foglalta össze a



következő 1. táblázat (Yaqub et al., 2015). A kukorica, mint a kutatásunk tesztalánya is szerepel a táblázatban. Yaqub et al. (2015) kutatásában legfőképp a gépjárművek működéséből származó nehézfémek hatását vizsgálták, mint az ólom, kadmium, stb.

**1. táblázat** Közúti közlekedés hatásai az út mentén található növényekre Pakisztánban (Yaqub et al., 2015)

<i>Növényfaj</i>	<i>Szennyezés forrása</i>	<i>Káros hatások</i>	<i>Referencia</i>
Azadirachta indica (Neem fa), Millettia thonningii	Közúti szennyezés	Csökkent növekedés	Dzomeku és Enu-Kwesi, 2006
Dalbergia sissoo (Indiai rózsafa)	Közúti szennyezés	Csökkent csírázókéesség	Mehmood és Iqbal, 1989
Leucaena leucocephala, Parkinsonia aculeate, Sesbania sesban	Közúti szennyezés	Csökkent csírázókéesség	Siddiqui és Iqbal, 1994
Vitis vinifera	Közúti szennyezés	Morfológiai, fiziológiai elváltozások és a klorofill koncentrációjának csökkenése	Laghari et al., 2013
Alstonia scholaris	Közúti szennyezés	Morfológiai, fiziológiai, biokémiai elváltozások	Muhammad et al., 2014
Fraxinus americana, Platanus acerifolia	Közúti szennyezés	Levél morfológiájának, szerkezetének és anatómiai jellemzőinek megváltozása	Shafiq és Iqbal, 2005
Alstonia scholaris	Közúti szennyezés	Fotoszintézis sebességének és a légzés sebességének a csökkenése	Muhammad et al., 2014
Cassia siamea	Közúti szennyezés	Csökkent csírázókéesség	Shafiq a Iqbal, 2007
Calotropis procera, Cenchrus ciliaris, Parthenium hysterophorus	Közúti szennyezés	Kadmium szennyezés hatására a fotoszintézis és légzés sebessége csökken, növények belső CO <sub>2</sub> értékének csökkenése	Nawazish et al., 2012
Prosopis juliflora	Közúti szennyezés	Csírázás csökkenése, csökkent növényi biomasza, növények fehérjetartalmának csökkenése	Naveed et al., 2010

Orange, Guava, Epricot, Eucalptus	Közúti szennyezés	Klorofill-a, -b és karotinoid csökkenés	Durrani et al., 2004
Kukorica ( <i>Zea mays</i> )	Közúti szennyezés	Csírázás százalékos csökkenése, elnyomott növekedés, csökkent biomassza, csökkent növényi fehérjetartalom	Hussain et al., 2013
Oat ( <i>Avena sativa</i> )	Közúti szennyezés	Enzimaktivitás gátlása, mely hatással volt a CO <sub>2</sub> megkötésre	Khalid et al., 2014
<i>Alstonia scholaris</i> , <i>Pongamia pumata</i>	Közúti szennyezés	Levél méretének csökkenése	Shafiq és Iqbal, 2003

A közúti közlekedés szennyező anyagai a szén-monoxid, szén-dioxid, nitrogén-oxidok, illékony szerves vegyületek, lebegő por, **korom**, azbeszt, ólom.

### ***Korom hatásai***

Az már régóta ismert tény, hogy a levegőben található korom (BC) részecskék káros egészségügyi problémákat okoznak. Ezt a tényt támasztja alá az Amerikai Egyesült Államok Nemzetközi Fejlesztési Hivatala (USAID, 2010) is, mely szerint a korom krónikus és akut egészségügyi problémákhoz vezethet. Az USA-ban és Nyugat-Európában jogszabályok határozzák meg a belélegezhető határértékeket (Mark, 1998). A munkahelyi higiénia területén a munkacsoportok aktív szerepet játszanak a levegőben lévő részecskék egészségre vonatkozó mintavételi konvencióinak kidolgozásában a munkakörnyezetben és a környező levegőben.

A korom a légkörben található más részecskékkel együtt hatással van a Föld sugárzásháztartására (Horváth, 1998). A bejövő napsugárzás szempontjából jelentős abszorbernek számít, de ez mellett a Föld felszíne felől érkező sugárzást is elnyeli, amely csökkenti a felhők reflektív erejét (Bapna et al., 2012). A korom az egyik leghatékonyabb fényelnyelő frakció az aeroszolok között (USAID, 2010; Bond et al., 2013). A legújabb tanulmányok azt mutatják, hogy a BC jelentősen hozzájárul a globális felmelegedéshez és az éghajlatváltozás módosításához más üvegházhatást okozó gázokkal együtt. A korom negatív hatását a globális felmelegedésben csak a szén-dioxid gáz múlta felül (Baron et al., 2010), ezt támasztja alá Jacobson (2001) megállapítása is, mely szerint a második legkárosabb eleme a globális felmelegedésnek. Tudatában vagyunk annak, hogy nemcsak a széntartalmú részecskék, hanem néhány fénoxid és -szulfid is fekete. A széntartalmú részecskék azonban a

fényelnyelés szempontjából meghatározóak. Európában a fosszilis tüzelőanyagok a fő forrása a koromnak (BC), míg az Afrikai országokban a biomassa égetéséből (erdő és szavanna tüzek) kerül a légkörbe a korom (Cachier, 1998).

A mi kutatásunk célja a közúti közlekedésből származó légköri eredetű korom káros hatásainak vizsgálata volt. A téma fontosságát bizonyítják indiai tanulmányok is, például Reddy és Venkataraman (2002) publikációi, illetve az ott előidézett körülmények szerint a korom-kibocsátás mintegy 58%-a a közúti közlekedés számlájára írható. A tökéletes égést megvalósítani ez idáig nem sikerült, így a gépjárművek működésük során kialakult tökéletlen égésből származó részecskék növelik a légkör káros anyag tartalmát (Török, 2008). A BC ugyan rövid légköri tartózkodási idejű részecske (2-3 hét), de annál nagyobb távolságokra képes elszállítódni és mindenütt megtalálható (Stoffyn-Egli et al., 1997). Például dél-ázsiai nagyvárosokból a Tibeti-fennsík felé szállítódott korom súlyos problémákat okozott azokon a tájakon, ahol nagy területi kiterjedésben hó található (Menon et al., 2010).

Kutatásunk során a száraz ülepedésből származó korom hatásait vizsgáltuk. A talajban található korom hatásairól a szakirodalom részletesen beszámol. A korom a talajban raktározódva szénforrásként áll rendelkezésre a növények számára, de negatív hatásai nagyobb mértékben érvényesülnek (Wardle et al., 2008). Az üvegházhatású gázokkal való összehasonlításban a koromnak egyetlen „hátránya” van, hogy gyorsan kikerül a légkörből. Jellemzően légköri tartózkodási ideje egy-két hét, szemben az üvegházhatású gázok több évtizedes, sőt évszázados tartózkodási idejével. A korom rendkívüli sugárzáselnyelő képességét még a rövid tartózkodási idő sem képes ellensúlyozni (Gelencsér, 2014). A korom a szén-dioxidra vetített fajlagos melegítő potenciálja (Global Warming Potential – GWP) még húszéves időskálán is 4470, sőt száz évre vetítve is legalább 330 (Jacobson, 2002). Ez azt jelenti, hogy 1 kg koromrészecske egy-két hét alatt is 4470-szer, illetve 330-szor több sugárzási energiát képes hővé alakítani, mint amennyit 1 kg légkörbe került szén-dioxid összesen 20, illetve 100 év alatt (Gelencsér, 2014). A korom a levegő egyetlen olyan összetevője, amely rendkívüli hatékonysággal képes elnyelni a napsugárzást. Az északi félgömb hóval borított területei fölött elnyelése különösen hatékony, nagymértékben hozzájárul a hó és a jég olvadásához, az Északi-sarkvidék átlaghőmérsékletének gyors emelkedéséhez. Kibocsátásának csökkentése egyszerre jelenthetné egészségkárosító és légkört melegítő hatásainak azonnali mérséklését (Gelencsér, 2014). Zhan et al. (2012) szerint a korom a talajban található szerves szén nagy részét képezheti, de a különböző talajokban más-más a mennyisége. További negatív hatása a koromnak, hogy nagy az adszorpció

kapacitása, nehézfémeket és növényvédőszeret köt meg (Goldberg, 1985; Cornelissen et al., 2005). Brodowski et al. (2005, 2006) letapogató elektronmikroszkópos felvételek segítségével bizonyították a talajban található korom ásványi anyagokhoz történő kapcsolódását. Dízel kipufogógázban található korom közel 40 veszélyes szennyezőanyagot tartalmazhat nagyon jó adszorpciós kapacitásának köszönhetően.

## 2.5. Kukorica jelentősége

A búza és a kukorica együttesen a gabonafélék globális termésnyiségének 60%-át adják, termésük alakulása ezért létfontosságú az emberiség élelmezése szempontjából. Az ENSZ Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Világszervezetének, a FAO-nak 2012-re vonatkozó végleges adatai szerint a világ kukoricatermése 872,8 millió, a búzáé pedig 671,5 millió tonnát tett ki. Bár a kukorica globális termőterülete (178,6 millió hektár) igen jelentősen, 30,5 millió hektárral nőtt 2005-höz képest, a legnagyobb területen – nemcsak a gabonafélék, hanem az egyéb élelmiszernövények közül is – még mindig búzát termesztenek (217,3 millió hektár) (Statisztikai Tükör, 2014).

Magyarországon a megtermelt szemes kukorica nagy része takarmányként értékesül (Bocz, 1992). Magyarországon azt látni, hogy 1980 óta 3,8%-os hozam csökkenés tapasztalható a kukoricatermesztésben, mely az éghajlatváltozás számlájára írható. A csapadékeloszlás a legmeghatározóbb a kukoricatermesztés szempontjából, a növény nagyon vízártékeny (Király, 2017). A kukorica a fejlett országokban takarmányként, vagy bioüzemanyagként hasznosul, addig a fejlődő országokban élelmiszerként hasznosítják. Sajnos a fejlődő országok klímaváltozás érzékenysége nagyobb, így ezen országok nagyobb problémával fognak szembesülni a jövőben. Csökken a terméshozam, viszont a népességnövekedés miatt a kukorica iránti keresletük nőni fog, amit csak importtal tudnak majd biztosítani, így tovább növelve az amúgy is függő helyzetüket a világgazdaságban (Reeves et al., 2016).

A KSH adatai szerint a kukorica vetésterülete folyamatosan csökken, hiszen 2016-ban a megelőző 5 év átlagának csupán 85%-án vetettek kukoricát a gazdák, viszont a termésátlag magasabb lett a különösen kedvező nyári időjárásnak köszönhetően (KSH, 2016). Király (2017) kutatása megmutatta, hogy a magyar gazdák négyötöde az éghajlatváltozást tekinti a

legnagyobb kihívásnak a mezőgazdaság számára. Szinte egyöntetűen egyetértettek, hogy az éghajlatváltozás miatt az elmúlt években a kukoricatermesztés egyre kockázatosabbá vált. A változó éghajlat miatt a gazdák a termelési szokások változtatásával próbálják mérsékelni a káros hatásokat. Első reakciója a gazdák döntő részének szárazságtűrő kukoricahibrid alkalmazása volt. Továbbá az aszály mérséklésére változtattak a talajművelési módokon. Vagy öntözőberendezést alkalmaztak, vagy a hagyományos agrotechnikai eszközök révén is lehet a talaj vízvesztésén csökkenteni (talaj gyors lezárása, visszatömörítése). Kevés százalék a megkérdezett gazdáknak az öntözéskorszerűsítés mellett döntött. Legtöbben nagyobb beruházás nélkül szeretnék helyzetüket megtartani. Ennek egyik lehetősége a vetésterület csökkentése, melyet sok gazda alkalmazott. A vetésszerkezet megváltoztatása a legegyszerűbben megvalósítható megoldás, mely nagyobb beruházást nem igényel. A gazdákat arról is megkérdezték meddig mennének el a kukoricatermesztés megtartásában. Legtöbben azt nyilatkozták, ha az időjárási körülmények még nehezebbé tennék a termesztést, valószínűleg felhagynának a kukoricatermesztéssel (Király, 2017).

### ***Meteorológiai tényezők hatása a növénytermesztésre***

A természetben játszódó folyamatok egymással és környezettel fennálló szoros kölcsönhatása, amely azt feltételezi, hogy a vizsgálatuk csak komplex közelítéssel lehetséges (Anda, 2001).

Már az emberi civilizáció megjelenésével, mikor elkezdtek a földeket művelni, akkor rájöttek, hogy a növényeknek nem ugyanolyan minden évben a hozamuk. Ezt a régi korokban valami természetfeletti erőnek tulajdonították, de a társadalom fejlődésével egyre ésszerűbb magyarázatot találtak (Jolánkai és Birkás, 2007; Jolánkai et al., 2008). Napjainkban csak a tudományosan alátámasztott tényeket tekintik döntőnek. Nagyon sok faktor van, amely hatással van a hozamra, vannak, melyeket a gazdák képesek befolyásolni, de vannak melyeket nem (Tarnawa és Klupács, 2006). A környezeti tényezők közül vannak, melyek kevésbé vannak hatással a termesztésre (Klupács et al., 2010), de korábbi megfigyelések azt bizonyítják, hogy a legnagyobb hatásnak az időjárást tekintik (Szöllősi et al., 2004). Az időjárásnak és az éghajlatváltozásnak közvetett, vagy közvetlen hatásai lehetnek a mezőgazdasági termelésre és az élelmiszeriparra (Veisz et al., 1996; Anda, 2005; Bozó et al., 2010). Az ismeretes, hogy minden növényfaj különböző módon reagál a külső hatásokra. A kukorica, mint esetünkben is, a sugárzásra és a hőmérsékletre érzékeny (Anda és Lőke, 2004). A kukorica termését a csapadék is erősen befolyásolja (Anda et al., 2002).

A fényintenzitás 30-40%-os csökkenése az érésidő 5-6 napos megnyúlását eredményezi (Barbat és Puja, 1975). Tölgyesi (1992) viszont úgy látta, hogy a sugárzás ugyan fontos, de nem korlátozó tényezője a fejlődésnek.

A megvilágítás időtartamát tekintve a kukorica rövidnappalos növény, azaz 12 óra körüli megvilágítás sietteti a virágzást. Viszont az évszázadok során jól adaptálódott a növény a különböző termesztési hely sugárzási viszonyaihoz (Varga, 2001).

Az ózonréteg évtizedek óta tartó vékonyodásának köszönhetően az UV-B sugárzás globális szinten emelkedett. Pintér et al. (2008) nemesítési programot alkalmaztak, mely során kukorica hibrideket nemesítettek, melyek jobban ellenállnak az erősödő UV-B sugárzásnak. Megállapították, hogy az egyre magasabb sugárzás egyre magasabb össz-antocián termelést eredményezett a kukorica leveleiben. A levelek antociántartalom növeléssel reagálnak a magasabb sugárzásra. Vannak olyan növények, melyekben alaphoz magasabb ez a szint, így ők kevésbé reagálnak a magasabb sugárzási szintre (Pintér et al., 2008).

A kukorica melegkedvelő növény, így a megfelelő hőmérséklet létfontosságú számára. A csírázás optimumát már Grafe (1914) közölte. Minél magasabb a hőmérséklet, annál rövidebb a csírázás időtartama. A kukorica fejlődési szakaszainak kardinális pontjaira vonatkozó irodalom bőséges, és abban egyetért, hogy a fejlődés 30-33°C-on maximális sebességű (Brouwer, 1970; Duncan és Hesketh, 1968). A kukorica nem termesztendő olyan földrajzi helyeken, ahol a nyári átlaghőmérséklet 19°C alatti (Shaw, 1959). A hőmérséklet emelkedésnek pozitív tulajdonsága is lehet, mivel 1°C emelkedés következtében 7-9 napos vegetációs periódus emelkedés következhet be, mely lehetőséget adna más kukorica hibridek termesztésére is (Jolánkai et al., 2015).

Az éghajlatváltozás miatti CO<sub>2</sub>-szint által okozott hőmérséklet növekedés miatt a növényfejlődés felgyorsult, az életsiklus lerövidül (Allen et al., 1991; Peiris et al., 1996). A hőmérséklet emelkedéshez a fajtaválasztással és az agrotechnikai beavatkozások időpontjával lehet alkalmazkodni (Kaiser et al., 1993).

A víz rendelkezésre állása a gabonafélék termésminőségének és mennyiségi teljesítményének alapfeltétele (Jolánkai et al., 2015). Hiánya jelentős stressz a takarmánynövények terméshozamának minőségében és mennyiségében. A gabonafélék a világ legmegbízhatóbb emberi táplálkozás forrásai. A kukorica a búza után az egyik legfontosabb gabona, amely magas gazdasági értéket képvisel. A termény hasznosságát

nagyban befolyásolja az időjárási viszony, köztük is a talaj nedvességtartalma (Ács et al., 2008; Koltai et al., 2008; Skalová et al., 2008). A vízhiány korai öregedéshez, a szükségesnél több víz a tenyészidő meghosszabbodásához vezet (Debreczeni és Debreczeniné, 1983). A kukorica a vízhiányra érzékenyebb, mint a túl sok nedvességre (Nielsen, 1982). A legnagyobb vízigény a virágzás tájékán, közvetlenül előtte és utána jelentkezik (Varga, 2001). A túl sok csapadék is káros, a korai stádiumban érzékenyebb a növény a vízfeleslegre, mint később. A tenyészidőszak végén történő felesleg miatt megkésik a virágzás (Ritter és Beer, 1969). Magyarországon a szántóterületek kevesebb, mint 7%-a van öntözésre felkészítve, így a vízmegtartó technológiák döntőek. A csapadékváltozások súlyos és meghatározó következményekkel járhatnak a növénytermesztésben. A gabonatermesztés a szántóföldi növénytermesztés egyik fő forrása, mivel a szántóterületek felét a búza és a kukorica termesztésre használják. E két növény gabonatermése évente 9-15 millió tonna (Jolánkai et al., 2015). A túl kevés és a túl sok csapadék sem kedvező a gabonanövények fejlődésére. Jolánkai et al. (2015) kutatásából is kitűnik, hogy a legjobb hozamot a 600-700 mm-es csapadék bevetelű években tapasztalták. A 2010-es évben a legmagasabb éves csapadékmennyiséggel, 847 mm-rel mind a búza, mind a kukorica alacsony hozamot ért el a hosszú vízgyűjtő időszakok miatt. A fehérjeértékek esős években kisebbek voltak, a keményítőértékek nem mutattak összefüggést a csapadékkal. A rosttartalom értékek bizonyos növényi években véletlenszerűen változtak. A nedvességtartalom befolyásolta a minőségi megnyilvánulást. A magas csapadék gyakran rosszabb minőségű termeléssel jár (Jolánkai et al., 2015).

### ***Mikroklíma***

Napjaink kutatásának egyik lényeges változása az időjárás-növény közti kapcsolat kölcsönhatásként történő kezelése. Ez azt jelenti, hogy nemcsak az időjárás növényre gyakorolt hatásával kell számolni, hanem tekintetbe kell venni azt is, hogy a növény bizonyos folyamatai visszahatnak a növényeket körülvevő légtérre (Anda, 2001). A növény és a közvetlen közelében lévő légtér közti kölcsönhatások elemzése a mikroklíma vizsgálatának tárgykörébe tartozik. A mikroklíma paramétereinek értékei lényegesen eltérhetnek a makroklíma értékeitől (Anda, 2001). A mikroklíma tehát a talaj közeli légrétegben mért meteorológiai tulajdonságok összessége, amelyben a felszín hatása erősen érződik és az itt mért fizikai paraméterek nagy térségekre nem vonatkoztathatók (Anda, 2001). A mikroklíma elhatárolásánál alapfeltétel, hogy a vizsgálandó meteorológiai elem ugrásszerűen térjen el a mikroklímát magába foglaló nagyobb légtömegre jellemző átlagértéktől. A mikroklíma nem

befolyásolja a nagyobb térségre meghatározott értékeket (makroklíma), viszont a makroklíma hat a mikroklímára. A mikroklíma elemeinek kiterjesztése függőlegesen 1-2 méter, vízszintesen időjárástól függően 1-1000 méter lehet (Anda, 2001).

A mikroklímák egyik fajtája a növény jelenléte miatt kialakuló állományklíma. Az állományklíma a meteorológiai jellemzői még a mikroklíma egy másik fajtájának, a talajmenti légrétegnek az értékeitől is jelentősen különbözhetnek (Anda, 2001). A növényállomány mikroklímája sajátos megközelítést igényel, mivel minden esetben vastagsággal rendelkezik, így a leggyakrabban alkalmazott növény leírására alkalmas jellemző a növénymagasság. Az állományklíma elemzése során belátható, hogy a meteorológiai elemek eltéréseiért egyértelműen a növények jelenléte, felépítése és az állományon belül lejátszódó anyag- és energiacsere folyamatok a felelősek (Jones, 1992).

## 2.6. Növények levéltrágyázása

A növények nemcsak a talajon keresztül képesek a növekedésükhöz szükséges anyagok felvételére, hanem a leveleiken keresztül is. A kutatásunk során a kormot a levéltrágyázás módszeréhez hasonlóan jutattuk ki. A levélen keresztüli felvétel mechanizmusa hasonló a gyökéren keresztülihez. A levelek kutikula rétegén keresztül történik meg az anyagcsere. Ez a réteg a nedvesség hatására kitágul és így képes felvenni a tápanyagokat, amiket a levelekre permeteznek. Ismert, hogy a terméskötés után a gyökéren keresztüli felvétel intenzitása csökken, így a levélen keresztüli tápanyagfelvétel döntővé válik (Kádár, 2008).

A levéltrágyázást sok tényező befolyásolja. A levéltrágyázás után ideális esetben a levél zöld színe mélyebb lesz, megnő a klorofilltartalma, a fotoszintézis intenzitása. A gabonafélék, melyeknek szélesebb levelei vannak a töményebb oldatokat is elviselik (Kádár, 2008).

A levéltrágyázás csak akkor lehet eredményes, ha valóban a hiányzó elemeket pótolják. Fontos tisztában lenni az adott terület talajviszonyaival, a levéltrágyázási próbákat kell végrehajtani, hogy az eredmények tényleg pozitívak legyenek (Kádár, 2008).



### 3. ANYAG ÉS MÓDSZER

A kutatásra egymást követő három évben (2010, 2011, 2012) szabadföldi körülmények között került sor, ahol a koromszennyezés kukorica növényre gyakorolt hatásait elemeztük. A szabadföldi növények vizsgálata során kiemelt jelentősége a mikroklíma elemzésnek volt.

Az eredmények során az 5%-os szignifikancia szintet vettük alapul, az ennél kisebb eltéréseket nem jelöltük az értekezésben.

#### 3.1. A vizsgált növény és helyszín

A kutatás szabadföldi helyszíne a Pannon Egyetem Georgikon Karának (PE GK) Agrometeorológiai Kutatóállomása volt. A területen a szokásos agrotechnika alkalmazásával nevelt kukorica növények voltak a tesztalanyok. Tesztnövénynek a rövid tenyészidejű Sperlona (FAO-340) hibrid csemegekukoricát választottuk, 70000 tő ha<sup>-1</sup> sűrűségben, mely a magyar éghajlati viszonyok mellett széles körben alkalmazott.

A megfigyelt fenológiai fázisokat a BBCH kódokkal együtt adjuk meg:

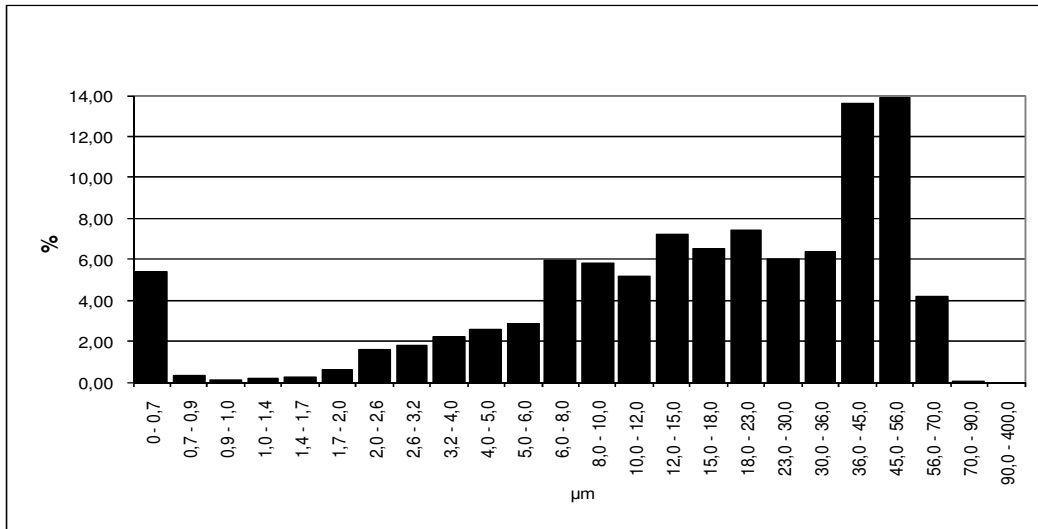
<i>Növekedési szakasz</i>	<i>Leírás</i>	<i>Kód</i>
Megjelenés	Az első kibontakozott levél	11
Címerhányás (antézis)	Felső és alsó részei a bimbónak a virágban	65
Tejes érés	Csövek közepén a szemek sárgás fehérek és összenyomásuk következtében tejesek, a száraz anyag (DM) 40%	75
Viasz érés	A szemek sárgák, a DM kb. 55%	85
Teljes érés	A szemek kemények és fényesek, kb. 65% DM	89
Növény elhalása	A növény összeomlott, nincs zöld levél	99

Ramann típusú barna erdőtalaj az uralkodó talajtípus a területen. Ide azokat a talajokat soroljuk, amelyekben a humuszosodás, valamint a kilúgzás folyamatához csak az erőteljes agyagosodás és a gyenge savanyodás járul. Ennek következményeként a kilúgzási és a felhalmozódási szint agyagtartalma között nincs lényeges különbség, ugyanakkor mindkét szint több agyagot tartalmaz, mint a talajképző kőzet. A barnaföldek A szintje általában 20-30 cm vastag, barnás, szerkezete morzsás vagy szemcsés, kémhatása gyengén savanyú vagy semleges. Átmenete az alatta levő felhalmozódási szint felé fokozatos, de rövid. Elterjedési területük általában a barna erdőtalajok és a csernozjomterületek szomszédsága. Szántóföldi vízkapacitása  $150 \text{ mm m}^{-1}$ , és az átlagos sűrűsége  $1,46 \text{ Mg m}^{-3}$  a felső 1 m-es rétegben. A kutatás során mértük a talajnedvességet pontszerű mintavétellel, viszont a mérés folytonosságának hiányában az eredmények értékelhetetlenek lettek, így az értekezésbe nem kerültek bele, a parcellákon csak a csapadékbevétellel számoltunk. Minden tavasszal, közvetlenül a vetés előtt juttattuk ki a megfelelő tápanyagokat ( $180, 80$  és  $120 \text{ kg ha}^{-1}$ , N, P és K) a vizsgált területre. A gyomirtást és növényvédelmet (agronómiai eljárások) az egyetem javaslatai szerint végeztük el.

## 3.2. Az alkalmazott eljárások

### 3.2.1. Növények koromszennyezése

A növények szennyezéséhez a Hankook Gumigyár (Dunaújváros, Magyarország) által, a gumik keménységének javítására használt „black carbon”-t (továbbiakban BC) alkalmaztuk (2. ábra). Ez a szennyezőanyag a gépkocsik futása során közvetlenül jut vissza a légkörbe. A méreteloszlásra jellemző, hogy  $3,13 \mu\text{m}$  alatt 10%,  $18,8 \mu\text{m}$  alatt 50% és  $50,6 \mu\text{m}$  alatt a teljes korom mennyiségének 90%-a található.



**2. ábra** Az alkalmazott korom frakcióinak százalékos megoszlása

Az anyag „vegyszermentes”, mentes minden egyéb szennyezőanyagtól, pl. nehézfémek, ezáltal a kísérlet ismételhetősége, mely több levegővédelemmel kapcsolatos anyagnál nehezebb, nem okozott problémát. A kijuttatásnál a talajfelszínre vonatkoztatva, 3 g m<sup>-2</sup>-es dózist alkalmaztunk, melyet hetente ismételtünk. A dózis meghatározásánál irodalmi adatokat is tekintetbe vettünk (Freer-Smith et al., 2005, Prusty et al., 2005). A szennyezéshez SP 415 típusú motoros porozót alkalmaztunk (3. kép).



**3. kép** A koromszennyezéshez használt motoros porozó

### 3.2.2. Sugárzási jellemzők mérése

#### *Albedó*

A beérkező és a visszavert rövidhullámú sugárzás hányadosa az albedó, mely 0 és 1 közötti értéket vehet fel.

$$\text{albedó}(\alpha) = \frac{\text{reflektált sugárzás}}{\text{globálisugárzás}} \times 100 (\%) \quad (1)$$

Az albedó méréséhez a kijelölt 0,3 ha-os parcellák közepén állítható magasságú oszlopokra kerültek a CMA-11 típusú piranométerek (Kipp & Zonen, Vaisala) (4. kép). A piranométer a rövidhullámú sugárzás mérésére szolgáló műszer. A műszeren egy üvegbúra található, ami fókuszálja a napsugarakat az érzékelőre, s egyben védi az érzékelőt a szennyeződésektől, nedvességtől. Az üveg ráadásul azzal a tulajdonsággal is rendelkezik, hogy kiszűri a 4 µm-nél nagyobb hullámhosszúságú sugarakat. Ezáltal az érzékelőre csak a rövidhullámú sugárzás jut. A meteorológiai mérések során leggyakrabban alkalmazott termoelektromos piranométerben a sugárzás hatására hőmérséklet-különbség alakul ki a műszertest, az érzékelő lemez és az üvegbúra között. Elektromos áram indul meg, melynek intenzitása szoros kapcsolatban van a sugárzás intenzitásával. A meteorológiai állomásokon vízszintes helyzetben, a felszín felett általában 2 m-es magasságban helyezik el úgy, hogy az érzékelőt ne érje árnyék. Lefelé fordítva a reflex (visszavert rövidhullámú) sugárzás mérhető. Két piranométer együttes alkalmazásával, közülük az egyiket felfelé, a másikat lefelé irányítva a globál és reflex sugárzás együttes mérése alapján az albedó is mérhető. E rendszert albedóméternek is hívják (Mészáros, 2013). A szenzor magasságát a növény növekedésével párhuzamosan hetente emeltük úgy, hogy az mindig legalább 1,5 m-el volt az állományok felett. Az adatokat Logbox SD (Kipp & Zonen, Vaisala) datalogger gyűjtötte, a 6 másodpercenként vett mintákból 10 perces átlagokként. A 10 perces értékeket, vagy az azokból származtatott óra- és napi átlagokat elemeztük.



4. kép Az albedó méréséhez használt piranométer

#### *Rövidhullámú sugárzási mérleg*

A légköri sugárzást két tartományra bontjuk a rövidhullámú, vagy napsugárzásra ( $<4 \mu\text{m}$ ), illetve a hosszuhullámú ( $4\text{-}100 \mu\text{m}$ ) sugárzásra. A Napból származó rövidhullámú elektromágneses sugárzás a légkörben közvetlen (direkt;  $S_k$ ) és szórt sugárzás (diffúz, vagy égbolt sugárzás;  $S_{sz}$ ) formájában éri el a felszínt. A közvetlen és szórt sugárzás összege a globál sugárzás ( $S$ ):

$$S = S_k + S_{sz} \quad (2)$$

A globál sugárzásból és az albedó felhasználásából számítottuk ki a rövidhullámú sugárzási mérleget ( $Q_s$ ):

$$Q_s = S \times (1 - \alpha) \quad (3)$$

ahol  $S$ : a globál sugárzás,

$\alpha$ : albedó.

#### *Nettó sugárzási mérleg*

A nettó sugárzási mérleg ( $R_n$ ) (a rövidhullámú és a hosszuhullámú sugárzás különbsége) a forrása az állomány energiaigényes folyamatainak:

$$R_n = H + LE + G \quad (4)$$

ahol H: szenzibilis hőfluxus,

LE: látens hőfluxus,

G: talaj hőfluxus.

A talaj hőfluxus számításához a két szintben (állomány felett és talajszinten) végzett sugárzás mérések mellett szükség volt a helyben megállapított extinkciós koefficiensre is (Beer-Lambert egyenlet):

$$k \times LAI_i = \ln \times \left( \frac{I_i}{I_s} \right) \quad (5)$$

ahol,  $I_i$ : talajszinten mért sugárzás,

$I_s$ : állomány felett mért sugárzás,

$LAI_i$ : az adott állományon mért levélfelület-index.

A  $k$  és a mért LAI ismeretében az állomány aljára jutó energia ( $G$ ) meghatározására is a Monsi-Saeki (1953) összefüggést használtuk úgy, hogy az egész állományt egyetlen réteggként kezeltük. A látens hőfluxust a mért evapotranspiráció ismeretében az 1 mm víz elpárologtatásához szükséges energia felhasználásával ( $2,45 \text{ MJ m}^{-2}$ ) számoltuk (Jones 1983). A vizsgálatban napi adatokkal dolgoztunk, ezért a tározott energiát elhanyagoltuk. A szenzibilis hőt a nettó egyenleg maradék tagja szolgáltatta.

### ***Látens hő, szenzibilis hő, Bowen arány***

Látens hő: amikor egy anyag ugyanazon a hőmérsékleten halmazállapot-változást szenved, akkor az ehhez szükséges energiának látens hő a neve. Ez történik a cseppfolyós víz vízgőzzé alakulásakor (párolgás).

Szenzibilis hő: amennyiben az energia hozzáadása vagy elvétele egy test hőmérsékletének emelkedésében vagy csökkenésében jelentkezik, akkor érzékelhető hőről beszélünk.

A kukorica mikroklíma szimulációs modelljét Goudriaan (1977) és Goudriaan és van Laar (1994) dolgozta ki (Crop Microclimate Simulation Model). A modell alapja a sugárzási energia (R) állománybeli sorsa, melynek egy része visszaverődik az állományról, a másikat átterjeszti az adott réteg, s a harmadikat elnyelik a növények. Az állományok által elnyelt sugárzási energia a már korábban ismertetett szenzibilis- (H) és látens hővé ( $\lambda E$ ) alakul.

$$0 = R - M - H - \Delta E \quad (6)$$

A növények és a levegő hőtárolását, valamint a fotoszintézisben megkötött energiát (M), tekintettel azok mértékére, a modell elhanyagolja, kivéve a legalsó, talajközeli réteget, ahol ugyanezt a talaj hőtárolásával nem lehet megtenni (Chen, 1984). A növényállományok felépítése nem homogén, ezért az állomány által felvett energia további sorsának meghatározásához a növénymagasságot rétegekre (i) kell bontani, mégpedig annyi rétegre, amelyekben az adott tulajdonság már homogénnek tekinthető. A rétegek számát az állomány sajátosságai, a megfigyelés célja, valamint a vizsgálni kívánt elem egyaránt befolyásolják (Goudriaan, 1977). Ennek ismeretében az i-edik réteg szenzibilis hő fluxusa:

$$H_i = \rho \times c_p \frac{(T_{ci} - T_{ai})}{r_{aHi}} \quad (7)$$

ahol  $T_{ci} - T_{ai}$  : növény- és léghőmérsékleti differencia ( $^{\circ}\text{C}$ ),

$r_{aHi}$  : hőre vonatkozó aerodinamikai ellenállás ( $\text{s m}^{-1}$ ),

$\rho$  : a levegő sűrűsége ( $\text{kg m}^{-3}$ ),

$c_p$  : a levegő állandó nyomáson vett fajhője ( $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ).

A látens hő:

$$\lambda E_i = \rho c_p \{q^* (T_{ci} - q)\} / [\gamma (r_{awi} + r_{ci})] \quad (8)$$

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

$r_{ci}$  és  $r_{awi}$ : az állományra és a vízre vonatkozó aerodinamikai ellenállás ( $\text{s m}^{-1}$ ),

$\gamma$ : pszichrometrikus konstans [ $\text{hPa K}^{-1}$ ],

$\lambda$ : a víz halmazállapot változásához szükséges energia [ $\text{J g}^{-1}$ ].

Bowen-arány: az érzékelhető (szenzibilis; H) és a látens hő (E) mennyiségének egymáshoz való viszonyát fejezik ki:  $\beta=H/E$ .

### 3.2.3. Evapotranszpirométeres mérés és a parcellák kialakítása

Vizsgálatainkat különböző vízellátás mellett történtek, öntözetlen parcellákon és evapotranszpirométerekben (ET-kád) (5. kép). Az öntözetlen parcellákon, melyek 0,3 ha területűek, az időjárási viszonyoknak megfelelő mennyiségű vizet kapott a kukorica csapadék formájában. Az evapotranszpirométerekben „ad libitum” („nem korlátozott”) vízellátást biztosítottunk az állomány részére (Anda és Soós, 2012). Az ET-kádak Thornthwaite-féle kompenzációs evapotranszpirométerek, melyek 4 m<sup>3</sup>-es tenyészedények (2×2 méteres felülettel és 1 méteres mélységgel). Az ET-kádak több célt is szolgáltak. Egyrészt meghosszabbították a vizsgálati időszakot, másrészt évjárási hatások összehasonlítására szolgáltak, különösen a száraz években az öntözés hatásának szimulálására. A párolgás mértékét a vízháztartási mérleg tagjainak követéséből maradék tagként nyertük.



**5. kép** A kutatóállomáson kialakított vizsgálati terület. Parcellák és evapotranszpirométerek.

A kísérletben alkalmazott kezelési kódok a következők voltak:

*Kezelés*

*Kód*

Vízellátás szempontjából:

Öntözetlen parcella

P



Evapotranszpirométer	ET
Szennyezési szint szempontjából:	
Korommal nem szennyezett (kontrol)	C
Korommal szennyezett állomány	BC.

### 3.2.4. Mikroklíma elemzés

A kombinált léghőmérséklet és relatív nedvességtartalom mérésére szolgáló műszereket a talaj felszínétől 1 m-re helyeztük el, amely a legintenzívebb élettani folyamatok helye. A vizsgált két paramétert a kukorica életfolyamataiban történő fontossága miatt választottuk. A levegő hőmérséklete szabályozza az élettani folyamatok intenzitását, a páratartalom pedig elsődleges szerepet játszik a transzspiráció intenzitás szabályozásában.

### 3.2.5. Növény növekedés-fejlődés alapvető mutatóinak mérése

#### *Levélterület-index (LAI)*

A levélterület-index (LAI) meghatározásához automatikus planimétert (LI 3000A) használtunk, melynek működési elve az infravörös sugárzás elnyelődésén alapul. A műszerrel mérhető paraméterek a levélszélesség, maximális szélesség, levélhosszúság és levélterület. A mérést hetente ismételtük. Ismétlések száma a parcellákon 5, a kádakban 4 növény volt.

#### *További növekedés-fejlődés mutatók mérése*

Az alapvető növényi növekedés jellemzőiből mértük a növénymagasság heti változását, illetve a tenyészidőszak végén a termés mennyiségét, és minőségét.

### 3.2.6. A teljes szárazanyag (TDM) és vízhasznosítási együttható (WUE)

A vegetációs időszak végén meghatároztuk a kukorica teljes szárazanyagát (TDM), külön a szem és külön a szár szárazanyagra vonatkoztatva. A növényt 60°-on tömegállandóságig szárítottuk, majd mértük a teljes növény súlyát grammban kifejezve. A parcellán a mintákat 4 m<sup>2</sup>-es területről vettük, mely megegyezik az evapotranszpirométerek tenyésztedény-méretével, 4 ismétlésben.

A vízhasznosítási együttható (WUE) az egységnyi biomassa előállításához szükséges vízmennyiség, általánosan használt típusai a csapadékvíz hasznosulás, illetve az evapotranszpirációs hányados (Varga-Haszonits, 1998). A teljes szárazanyag, a párolgás és a csapadékbevitel függvényében számoltuk a kukorica vízhasznosítási együtthatóját. A teljes szárazanyag meghatározás után a vízhasznosítási együtthatót az ET-kádakban az evapotranszpiráció és a TDM hányadosa adja, a parcellákon pedig a csapadékbevitel és a TDM hányadosa adja. A teljes tenyészidőszak alatt mértük a talajnedvességet pontszerű mintavétellel a kijelölt parcellákon, de értékelhető eredményt nem kaptunk, így nem került bele a dolgozatba, csak a csapadékbevitellel számoltunk. A mértékegység 1 kg<sup>-1</sup>, azaz az 1 kg teljes szárazanyag előállításához felhasznált elpárologtatott vízmennyiséget adta meg.

### 3.3. Meteorológiai adatok

A vizsgálataimhoz szükséges meteorológiai adatokat (globálsugárzás, léghőmérséklet, légnedvesség, szél és talajhőmérséklet) a szántóföldi kísérlet helyszínén lévő Agrometeorológiai Kutatóállomáson elhelyezett QLC-50 automata klímaállomás biztosította (6. kép) (Kocsis és Anda, 2006). Az állomás tagja a Magyar Meteorológiai Szolgálat megfigyelési hálózatának.



**6. kép** A vizsgálati területen található QLC-50 automata klímaállomás helyszíne

### 3.4. Statisztikai elemzés

A kezelések hatását az ANOVA statisztikai módszerrel határoztuk meg, mely a Duncan vagy Games-Howell egyidejű átlagos összehasonlító tesztek kiegészítése. A varianciaanalízis számos, egyező szórású, normál eloszlású csoport átlagának összevetésére alkalmas statisztikai módszer, melyet angol megnevezésének kezdőbetűiből generálva: **AN**alysis **O**f **V**ariance=**ANOVA**-ként is ismernek. Feltételezésünk alapja az volt, hogy a Levene-teszt alapján a variancia azonos, tehát a teszt nem szignifikáns, alapfeltétele az ANOVA módszer használatának. Az adatok analíziséhez SPSS programcsomagot használtunk (SPSS Statistics 17.0; IBM Corporation, New York, US). A kezelések összehasonlítására Microsoft Excel 2010-es programot használtunk.

## 4. EREDMÉNYEK

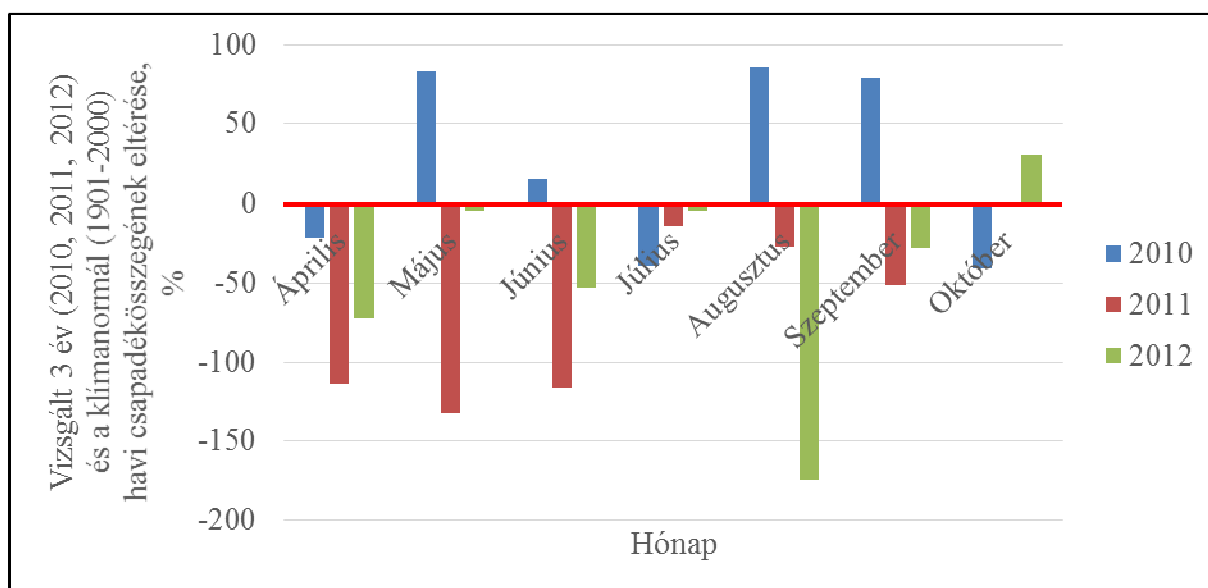
A három év eredményei külön-külön és együttesen is bemutatásra kerülnek.

### 4.1. Időjárási viszonyok és hatásai a kukorica fejlődésére

#### 4.1.1. Időjárási viszonyok

A vizsgálati területen elhelyezett klímaállomás már évtizedek óta szerves részét képezi az országos meteorológiai megfigyelő hálózatnak. Az évjáratok általános jellemzéséhez a tenyészidőszakok (április-október) adatait a sokéves átlaggal (1901-2000) hasonlítottuk össze. A havi átlagos csapadékmennyiség (3. ábra) és a havi átlagos középhőmérséklet (4. ábra) alapján csoportosítottuk a vizsgálatba vont három tenyészidőszakot.

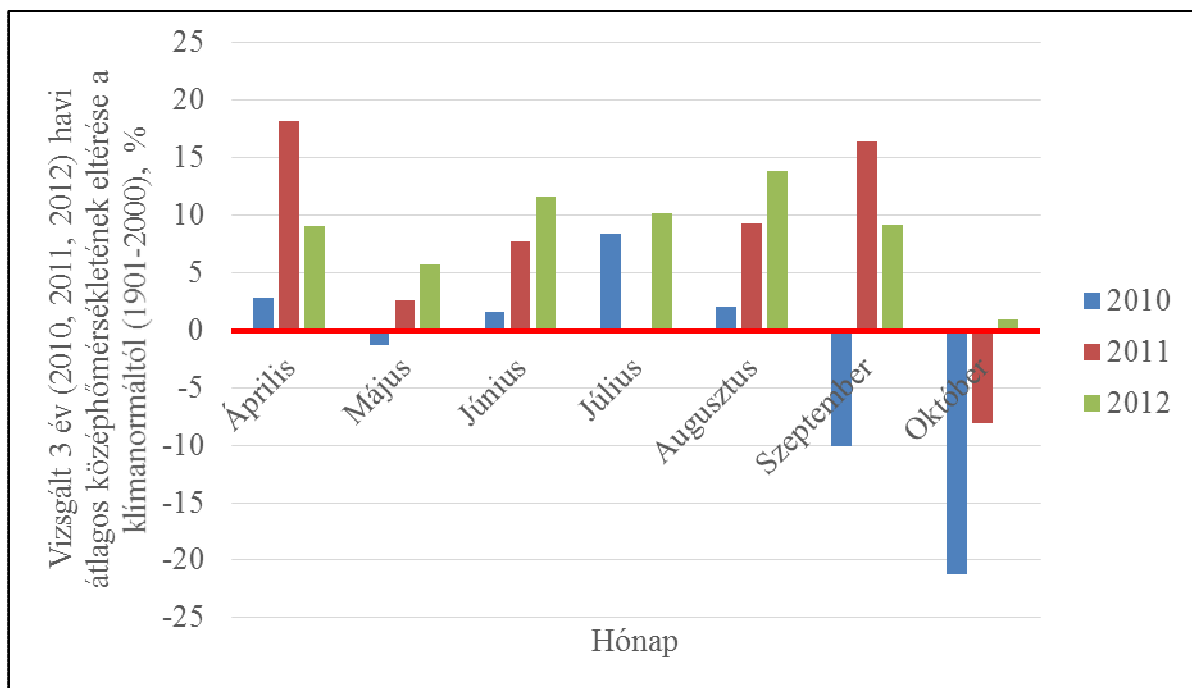
2010 májusában, augusztusában és szeptemberében kiemelkedően magas volt a csapadékmennyiség, több mint kétszerese a sokéves átlagnak (242%, 249% és 230%). Júniusban kevesebb csapadék hullott, de így is több volt, mint a sokéves átlag (117%). Áprilisban, júliusban és októberben nem volt számottevő különbség az 1901-2000-es sokévi átlaghoz képest. A 2010-es év különösen nedves év volt.



**3. ábra** A vizsgált három év (2010, 2011, 2012) és a sokéves (1901-2000) átlag havi csapadékösszegének eltérése százalékban kifejezve

2011-ben a havi átlagos csapadékösszegek a sokéves átlag alatt maradtak. Ebben az évben is elmondható, hogy júliusban nem volt jelentős eltérés a klímanormál és az év csapadékmennyisége között, viszont a tenyészidőszakban összesen 56%-kal hullott kevesebb csapadék, mint a sokéves átlag. Nagyon száraz év volt 2011.

2012-ben 29%-kal kevesebb volt a csapadékbevitel, mint a klímanormál.



**4. ábra** A vizsgált 3 év (2010, 2011, 2012) és a sokéves (1901-2000) átlag átlagos havi középhőmérsékletének eltérése százalékban kifejezve

2010-ben az átlagos havi középhőmérséklet nem mutatott nagyobb eltérést, kivéve három hónap esetében. A havi középhőmérséklet júliusban 1,8°C-kal magasabb volt, mint a sokéves átlag, szeptemberben és októberben pedig alacsonyabb (-1,5°C, -2°C).

2011-ben az átlagos középhőmérsékletet figyelembe véve, 1,2°C-kal volt melegebb a tenyészidőszak, mint a sokéves átlag. Júliusban a középhőmérsékletben nagy eltérés nem mutatkozott a sokéves átlaghoz képest.

2012-ben a sokéves átlaghoz képest az időjárás extrém melegnek számított, a tenyészidőszak átlaghőmérséklete 1,6°C-kal haladta meg a sokéves átlagot.

#### 4.1.2. Kukorica fejlődése, levélfelület-index (LAI)

2010-ben az átlagosan meleg tavasz és a májusban több mint kétszeres mennyiségű csapadék kedvezett a kukorica kezdeti fejlődésének, s nem alakult ki eltérés a különböző vízkezelésű állományok fenológiai fázisainak tartama és azok bekövetkezési időpontjai között. A kukorica fejlődésében a címerhányás volt az első fenofázis, ahol az ET-kádban fejlődő növények a kiegészítő vízellátás hatására 1 héttel később hozták címereiket. Az ok valószínűleg a vegetációs periódus egyetlen „szárazabb” hónapja a július, amikor a havi átlagnál 39%-al alacsonyabb csapadék hullott, amit viszont az ET-kád növényei megkaptak. Az összes többi hónap csapadéka meghaladta a 100 éves átlagot. Az 1901-től kezdődő adatsorban 2010 augusztusa rekordot állított fel a 180 mm-nyi havi csapadékösszegével, mely együtt a magasabb léghőmérséklettel kedvezett a parcella növényeinek fejlődésének is, s mind a tejes-, mind a viaszérés időpontjai már megegyeztek a két eltérő vízkezelésben részesített kukoricában. Az átlagot jelentősen meghaladó csapadék 2010 nyarán kissé elnyújtotta a rövid tenyészidejű kukorica (FAO 340) fejlődését. Végül a teljes érés a kontroll parcellákon 1 héttel korábban következett be, mint az ET tenyészédegyeiben, mely ezzel a tenyészidőszak hosszát a csak csapadékelátásban részesült kukoricánál 7 nappal lerövidítette. A korábbi megfigyelésekkel összhangban a kiegészítő vízellátás vegetációs ciklust növelő hatása még a csapadék extremitásokban bővelkedő 2010-ben is követhető volt.

2010-ben a koromszennyezés hatása kizárólag a növények leveleinek teljes leszáradásának idejében mutatkozott, s az is csak a korommal szennyezett ET-kádban, ahol a szennyezett kukorica 1 héttel tovább megőrzött néhány zöld levelet, mint az ET-ben nevelt kontrollja. A parcellánál ez a hatás nem jelentkezett.

2011-ben a tenyészidőszak hosszában és a fenofázisok megjelenésében nem mutatkozott eltérés a két kezelés között. A tenyészidőszak hossza az öntözetlen parcellás növényeknél 1-1,5 héttel megrövidült. A száraz kezeléseknél az állományzáródás 10 nappal korábban kezdődött, mely eltérés az érés során néhány nappal ugyan csökkent, de a száraz parcella növényeinek mintegy 1 hetes előnye az egész vegetációs ciklusra megmaradt. A növények leveleinek leszáradása az extrém meleg miatt gyors volt.

A kukorica magasságát nem változtatta a koromszennyezés, közel azonos volt a kontroll és kezelt állomány magassága.

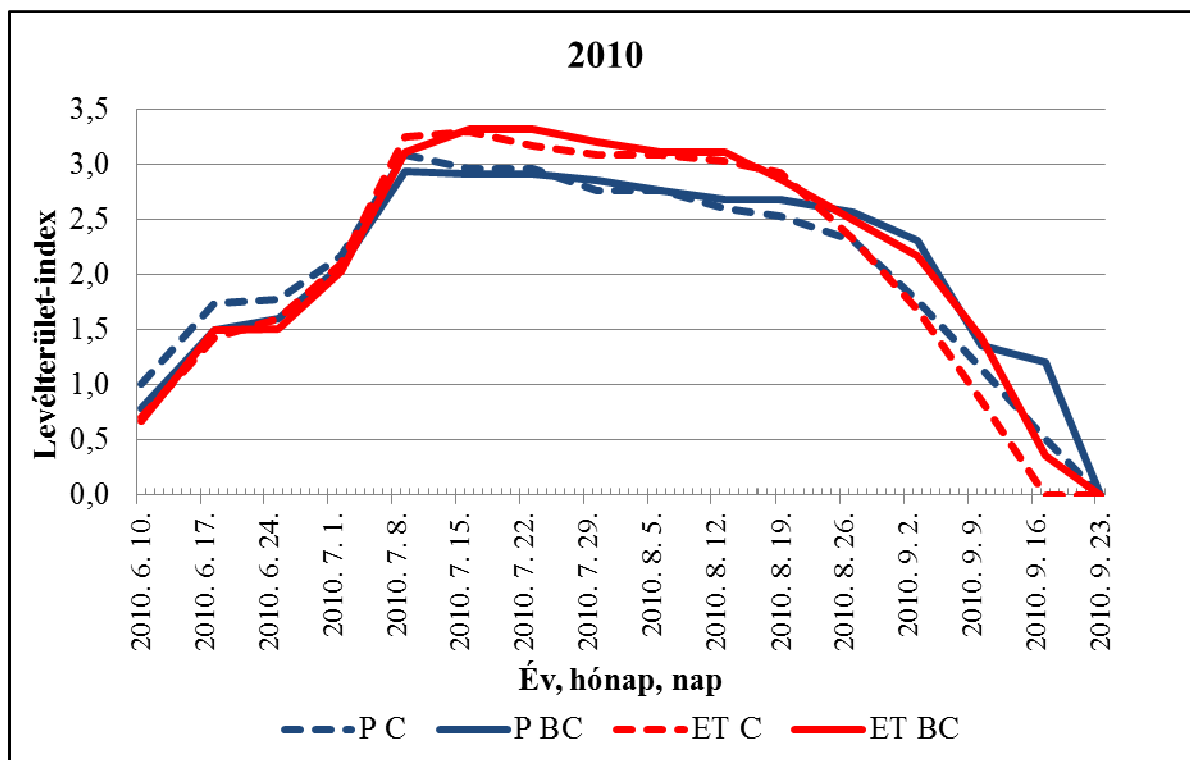
2012-ben is a kukorica fejlődésének szempontjából a július hónap volt jelentős, mely hónapban sem a csapadékbevitel, sem a középhőmérséklet nem mutatott jelentős különbséget a sokéves átlaghoz képest.

2012-ben a korom a kukorica fenofázisainak hosszát és bekövetkezésének idejét nem befolyásolta, bár a leszáradás egy hónappal előbb következett be a jelentős csapadékhiány miatt (augusztusban mindössze 5 mm csapadék esett). A nagy meleg szinte kiégette az állományt. A kukorica magasságát sem befolyásolta jelentősen a korom szennyezés egyetlen kezelésben sem.

A kukorica fejlődésének nyomon követésére ábrát nem szerkesztettünk, mivel eltérés nem volt, így nincs mit bemutatni.

### ***Levélterület-index (LAI)***

2010 hűvös, s az átlagnál jelentősen csapadékosabb nyarán az ET-kádokban és a parcellán nevelt nem szennyezett kukorica évi átlagos LAI-értékei szignifikánsan nem különböztek. Ez Keszthelyen kivételes évjáratot jelent, melyhez hasonló az elmúlt harminc esztendőben csupán néhányszor fordult elő. A koromszennyezés a parcella növényeinek LAI átlagát az érésig tendencia jelleggel 3,21%-al növelte (5. ábra). Az érést követő periódusban a szennyezett növények teljes zöld levél leszáradása vontatottabb volt, mint a kezeletlen kontrollé. Az érést augusztus végén regisztráltuk, s a teljes levél-leszáradás ezt az időpontot mintegy 2-3 héttel követte. A kontrollként kezelt nem szennyezett kukorica LAI görbéjének leszálló ága meredekebb volt, de végül a teljes leszáradás időpontjai megegyeztek.



**5. ábra** A levélterület-index változása a szennyezett (BC) és kontroll (C) kukorica között az öntözetlen parcellákon (P) és az evapotranszpirométerekben

A parcellához hasonlóan, az evapotranszpirométer tenyészedeényeiben lévő kukorica LAI-ének évi átlagát sem módosította szignifikánsan a szennyezés. A vetéstől a teljes érésig tartó időszak átlagos LAI-értéke 2,03 és 2,14 volt a kontroll és a szennyezett kádakban. Az ET-kád korommal szennyezett növényei, szemben a parcella egyedeinél tapasztaltakkal, nemcsak tovább rendelkeztek zöld levelekkel, hanem a teljes érés időpontja is később 1 hetet. (Ezt az időszakot, hasonlóan a parcella növényeihez, elkülönítve elemeztük, mivel ez már a teljes érést követte, s a kukorica termesztés fő célját, a termésalakulást nem befolyásolhatta.)

Mindkét vízellátású kezelésben a száradásbeli eltérés a teljes érés után szeptemberre esett, amikor az átlagosnál jóval hűvösebb ( $-1,5^{\circ}\text{C}$ ) idő, ráadásul kétszeres csapadék mennyiséggel társult. A koromszennyezéshez, mint stressz tényezőhöz szokott növények valószínűleg könnyebben tudtak alkalmazkodni a szennyezésen kívüli másik stresszhez, az extrém időjáráshoz.

A koromszennyezés sem a LAI maximumát, sem annak megjelenési idejét nem módosította. A nem öntözött parcellákon (szennyezettekben is) a legnagyobb zöldfelület egy

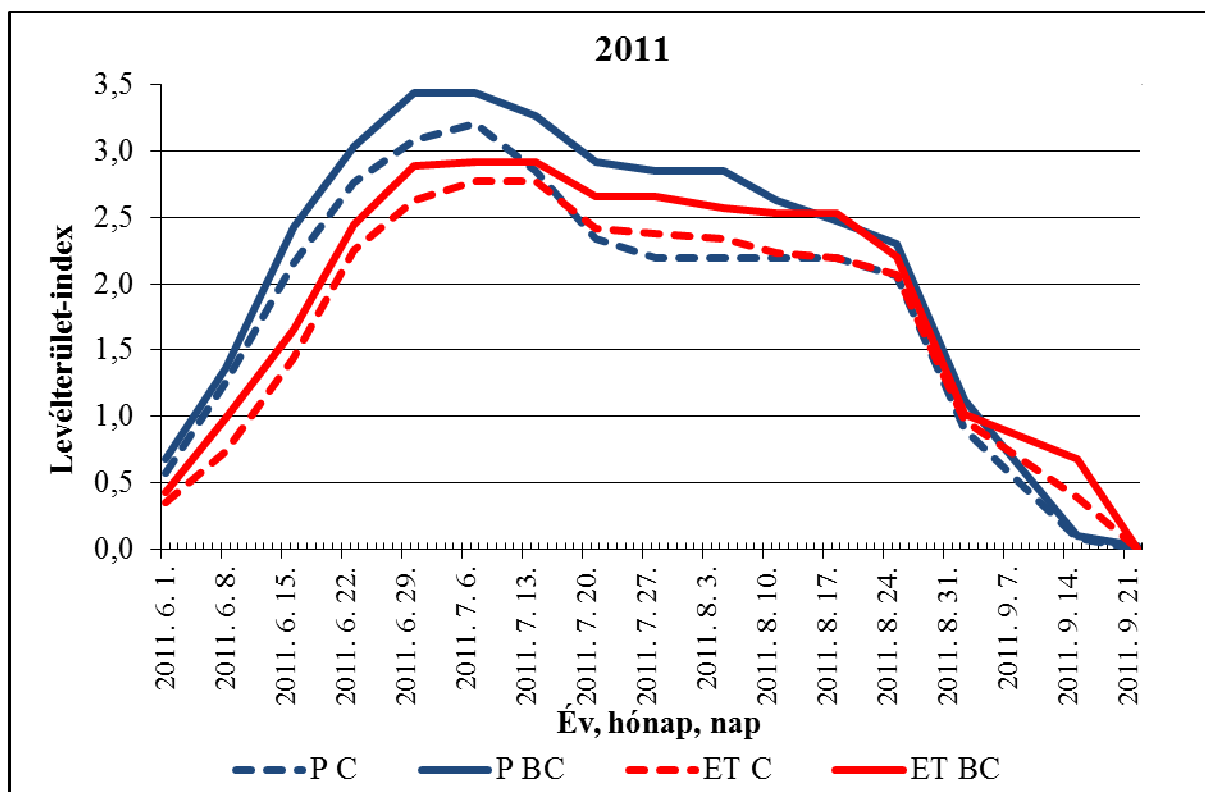


héttel megelőzte az ET növényeinek LAI maximumát. Ez összhangban van a fenofázisok ismertetésénél bemutatott kiegészítő vízellátás kukorica fejlődést késleltető hatásával.

Nem volt szignifikáns, de a szennyezés hatására az ET-ben termesztett növények évi átlagos LAI-e 3,15%-al meghaladta a szennyezett parcella egyedeinél mért értéket. Ez azt jelenti, hogy még a csapadékos nyarú 2010-ben is volt pozitív hatása a kukorica kiegészítő vízellátásának a zöldfelületre.

2011-ben a LAI tekintetében jelentős eltéréseket tapasztaltunk (6. ábra) a két kezelés között.

A koromszennyezés a parcellákon 14,9%-kal ( $P < 0,000$ ), az ET-kádakban 10,7%-kal ( $P < 0,000$ ) növelte a növény zöldfelületét a kontroll állományhoz képest. Erre a növekedésre nem számítottunk. Ez alapján a növények a szén nemcsak a talajon keresztül képesek felvenni, hanem a légkörből származó száraz ülepedésből is (Glaser, 2007).

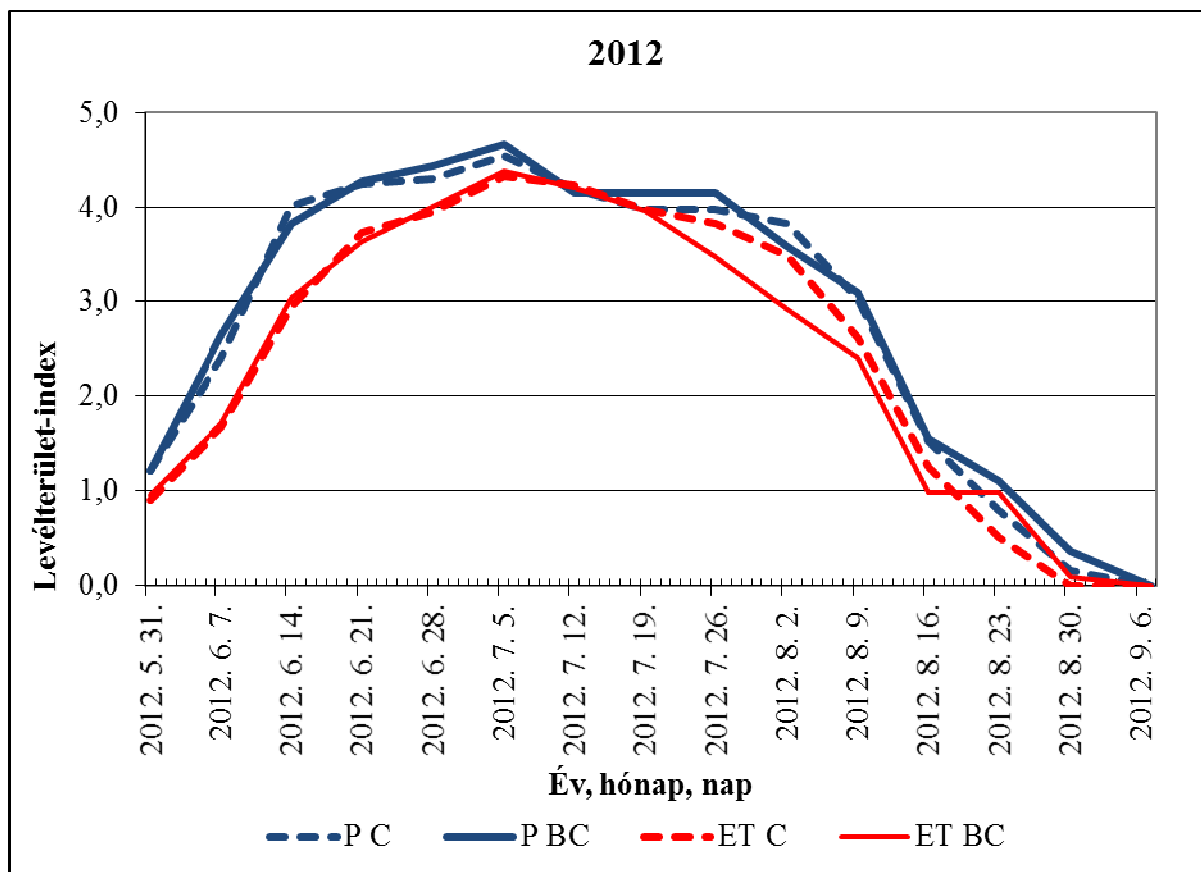


**6. ábra** Levélterület-index változása 2011-ben a korommal kezelt (BC) és a kontroll (C) kukorica között az öntözetlen (P) és az öntözött (ET) területen

A LAI maximumok a korommal kezelt parcellák esetében egy héttel meghaladták az öntözött korommal kezelt kukorica LAI maximumát, míg a kontroll állomány esetében mind a parcellán, mind az ET-kádakban egyazon héten érte a maximális LAI-et a kukorica.

A teljes leszáradás szeptember végére következett be minden kezelésben.

A koromszennyezésnek hatása a LAI tekintetében 2012 sem mutatkozott szignifikánsnak (7. ábra). Ugyan a növekedés itt is tapasztalható volt, de statisztikailag ez nem volt bizonyítható.



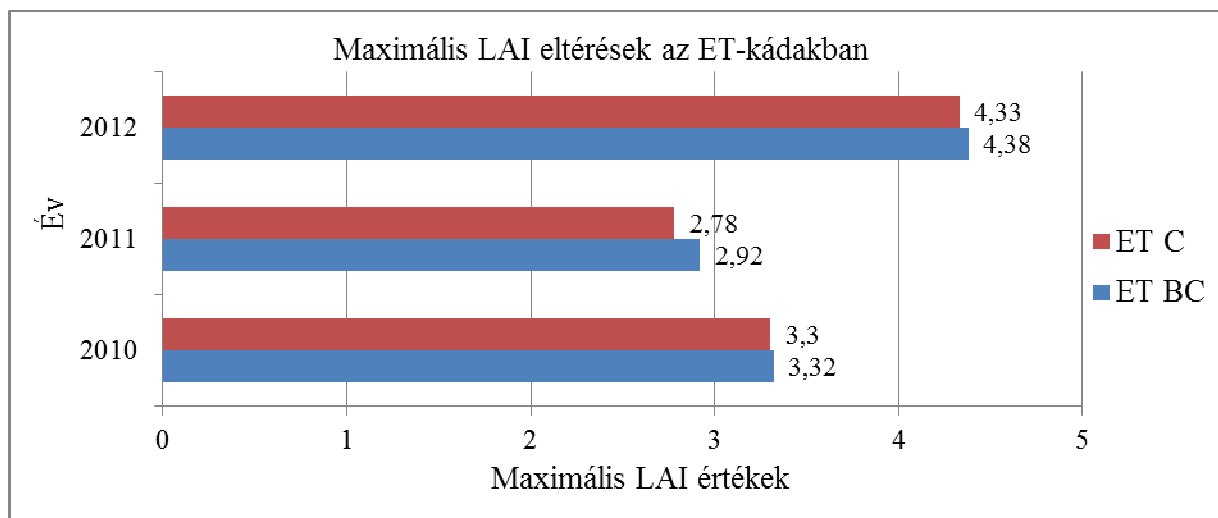
7. ábra Levélterület-index változása 2012-ben a korommal kezelt (BC) és a kontroll (C) kukorica között az öntözetlen (P) és az öntözött (ET) területen

A LAI maximumok ebben az évben ugyanazon a héten jelentkeztek (július első hete). Megjelenési idejét nem befolyásolta sem a koromszennyezés, sem a kiegészítő vízellátás.

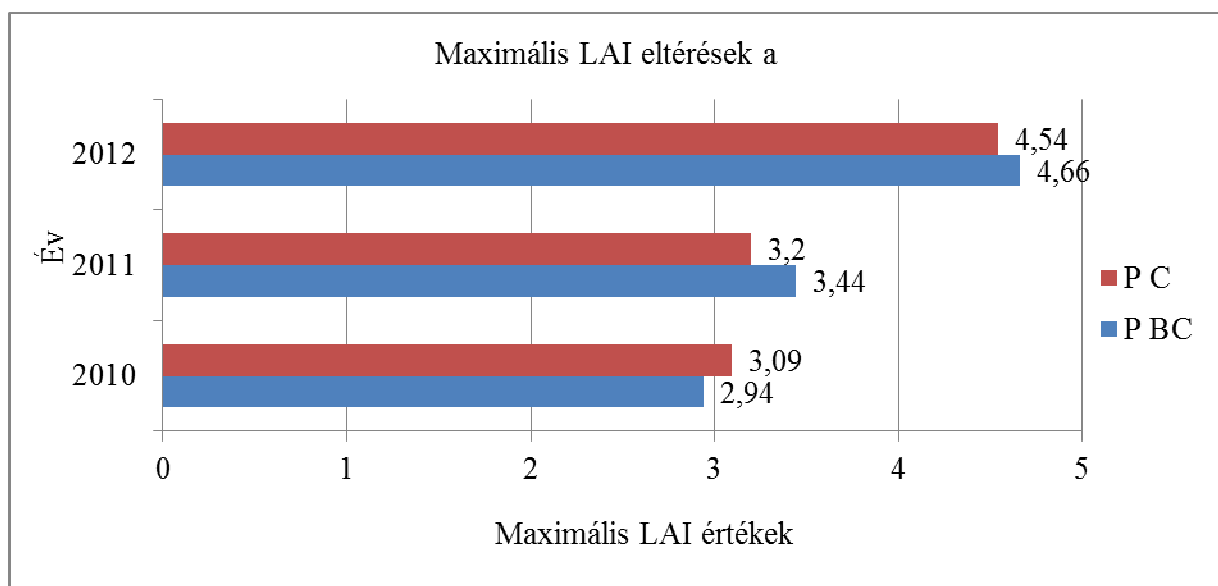
#### 4.1.3. Összegzés

A légszennyezés kapcsolata a levélfelülettel a legszorosabb, mert a szennyezőanyagok többsége LAI >1 esetén először a föld feletti hajtásokra ülepszik, s csak később ezekről lemosódva jut a talajra. A legkitettebb részt a növény felső rétege jelenti (Peters és Eiden, 1992).

A kukorica LAI-értékei a következőképpen alakultak a három év összehasonlításában. A maximális LAI esetében elmondható, hogy egy eset kivételével a korommal kezelt kukorica LAI-e meghaladta a kontroll kukorica maximális LAI-ét mindhárom évben (8. ábra, 9. ábra).



**8. ábra** Maximális levélfelület-index (LAI) alakulása az ET kádakban a korommal kezelt és kontroll kukorica között 2010-2012.



**9. ábra** Maximális levélfelület-index (LAI) alakulása a parcellán a korommal kezelt és kontroll kukorica között 2010-től 2012-ig.

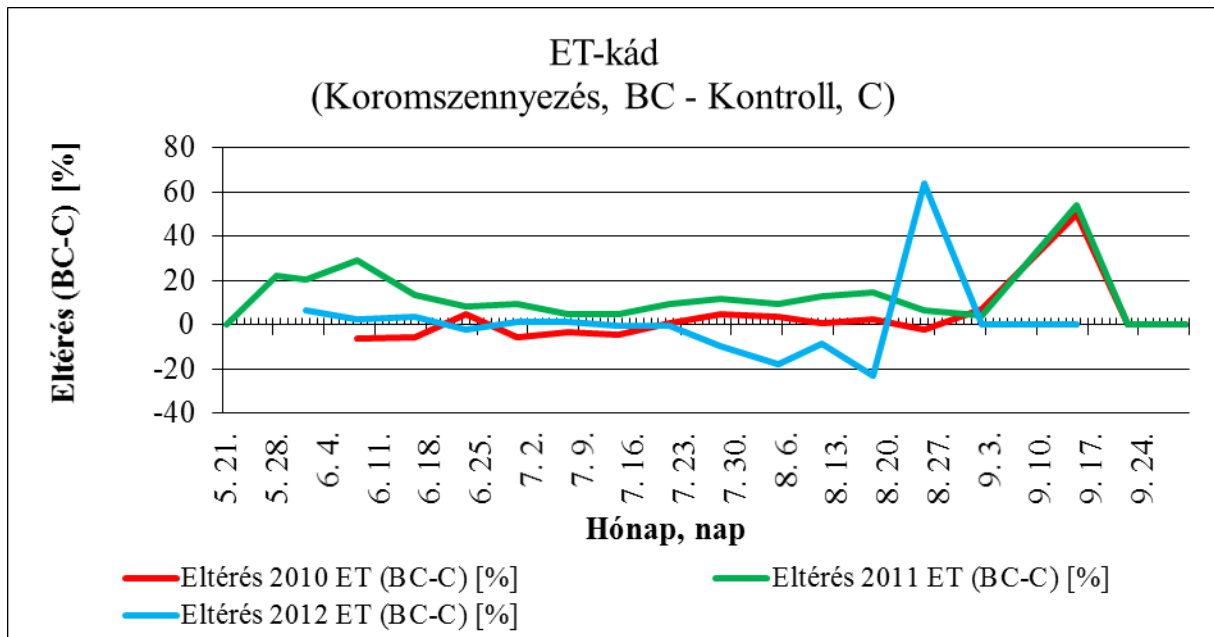
A 8. és 9. ábrából jól látszik, hogy a korom mindhárom évben növelte a levélfelületet, kivétel egy kezelést, 2010-ben a kezelt parcella növényeinél kisebb volt a LAI, mint a kontroll parcella növényeinél. Számos kutatás alátámasztja a koromnak a növény növekedésére gyakorolt pozitív hatásait. Vaccari et al. (2011) szerint a biomassza égetésből származó faszén mezőgazdasági alkalmazása során nem volt negatív hatással a növekedésre, hanem inkább stimulálta az esetükben alkalmazott búza tesztnövény termelését több, mint 25%-kal. Más kutatók is megerősítették ugyanazon fajra vonatkozó megfigyelésekkel (Baronti et al., 2010), hogy a termésstimuláció arányos a búzában a biofaszén alkalmazásának sebességével.

2010 és 2011 között a kontroll és korommal szennyezett öntözött kukorica LAI-ja között jelentős eltérést tapasztaltunk. 15,3%-kal ( $P < 0,01$ ) volt nagyobb a LAI 2010-ben a kontroll öntözött állományban, mint 2011-ben és 9,64%-kal ( $P < 0,012$ ) pedig a korommal szennyezett öntözött állományban. A parcellák esetében nem volt jelentős eltérés sem a kontroll, sem a korommal szennyezett kukorica esetében a két év között.

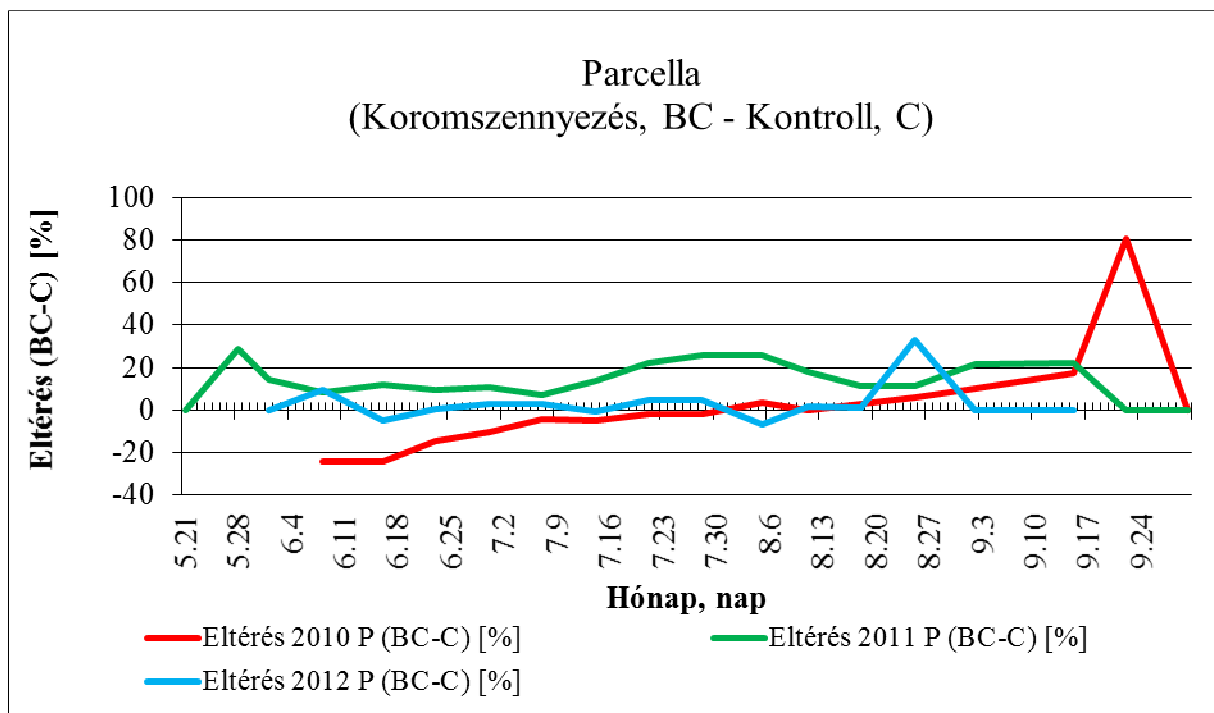
2010 és 2012 összehasonlításából következik, hogy jelentős eltérés csak a parcellákon mutatkozott, miszerint a kontroll parcella állománya 33,3%-os ( $P < 0,028$ ) növekedést, a korommal szennyezett parcella 32,53%-os ( $P < 0,052$ ) növekedést mutatott 2010-hez képest.

A következőkben a két meleg évet hasonlítottuk össze. Itt jelentős eltéréseket tapasztaltunk egy kezelés kivételével, mely az öntözött korommal szennyezett állomány volt. Itt is növekedett 2012-ben a kukorica LAI-e 2011-hez képest, de nem mutatkozott jelentősnek. Viszont a másik három kezelésben szignifikáns volt az eltérés. Az öntözött kontroll kukorica LAI-e 2012-ben 35%-kal ( $P < 0,039$ ), a kontroll parcella LAI-e 39,79%-kal ( $P < 0,007$ ) és a korommal szennyezett parcella LAI-e 27,56%-kal ( $P < 0,029$ ) volt nagyobb, mint 2011-ben.

Összehasonlítottuk a korommal szennyezett és kontroll állomány eltéréseit is a három évben mind az öntözött (10. ábra), mind az öntözetlen (11. ábra) állomány esetében.



**10. ábra** Az öntözött korommal kezelt és kontroll kukorica közötti LAI eltérés 2010 és 2012 között.



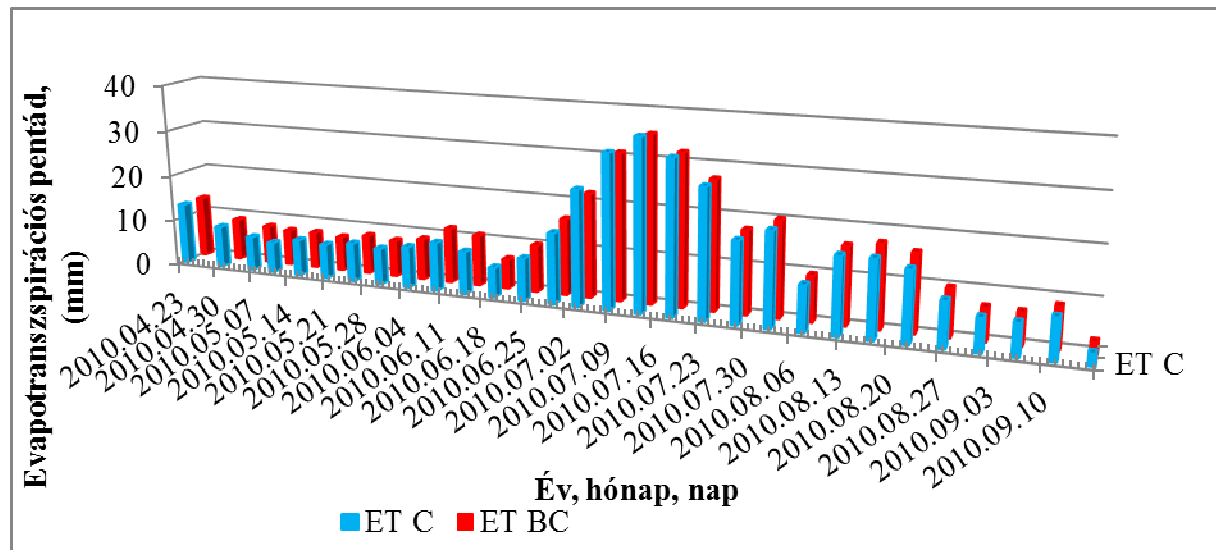
**11. ábra** Az öntözetlen korommal kezelt és kontrol kukorica közötti LAI eltérés 2010 és 2012 között.

A két kezelés LAI-e mindhárom évben, leginkább a tenyészidőszak végén tért el egymástól a legjobban. A 2011-es év jelentős LAI változáshoz a kevés csapadékbevétel járulhatott hozzá, melynek hatására a szennyezett állomány eltérés görbéi szinte egész

tenyészedőszak alatt meghaladták a kontroll állományt jelentő x tengely értékeit. 2012-ben is kevés volt a csapadék, de nem olyan jelentősen, mint az előző évben. 2010-ben pedig a jelentős csapadék miatt a növény felületéről lemoshatta a szennyezést, így nem állt a növény rendelkezésére a kiegészítő szén-forrás, közel azonos volt a két állomány LAI-ja. Grantz et al. (2003) szerint a LAI növekedésével a levélzeten található szemcsés anyagok növényi hatásai fokozódnak.

#### 4.2. Párolgás alakulása a koromszennyezés hatására

Az időjárás hatást markánsabban tükröző evapotranspiráció pentád összegei (12. ábra) 2010-ben a vegetációs ciklus elején és végén, amikor a párologtató zöldfelület és a besugárzás is alacsony, mérsékeltébbek (6-8 mm/pentád). A legmagasabb párolgás 2010-ben az átlagnál melegebb és szárazabb július negyedik pentádjában jelentkezett, pentádonként 30 mm-t meghaladó összegzett evapotranspirációval. A legnagyobb napi párolgást 2010. július 23-án mértük, mely 7,7 és 7,9 mm volt a kontroll és a koromszennyezett kezelésnél.

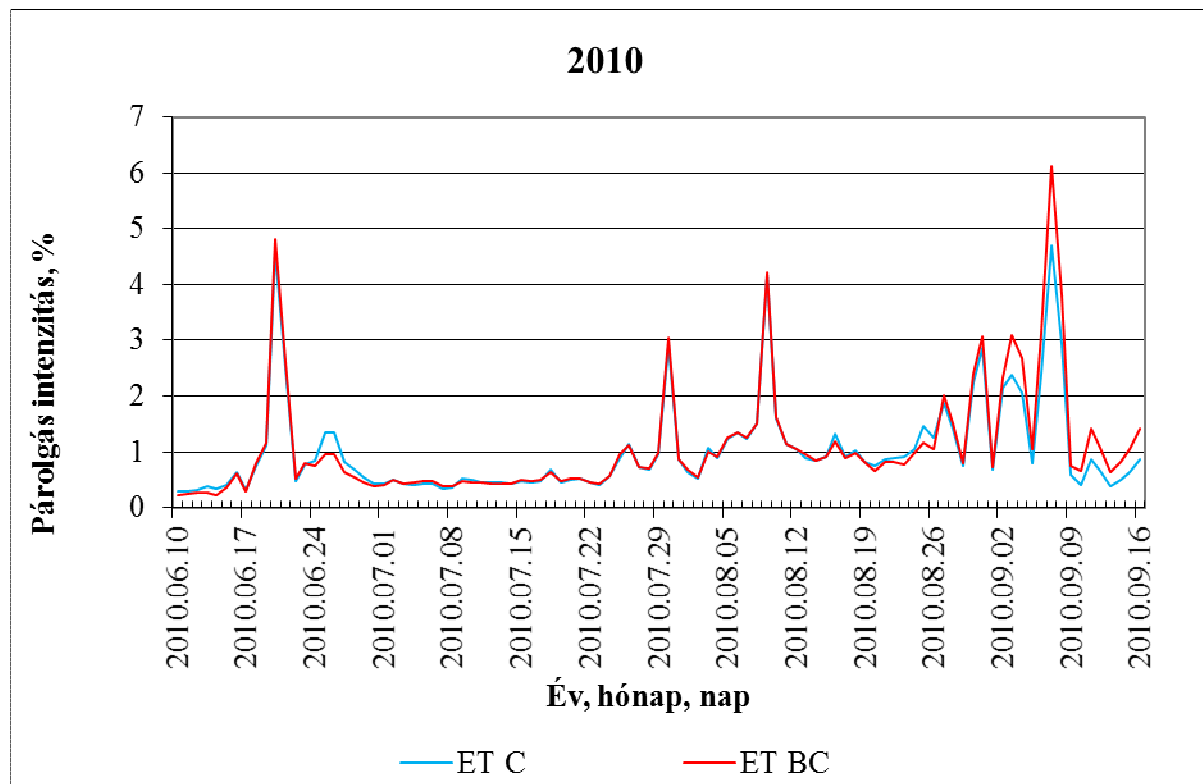


12. ábra A párolgás pentád összegei 2010 tenyészidőszakában

A koromszennyezés hatásának elemzésekor nem szabad figyelmen kívül hagyni a 2010-es tenyészidőszak szokásosnál csapadékosabb voltát. 2010 tenyészidőszakának 6 hónapjában a 183 napon 83 napon esett az eső, mely 2,5-3-szorosa a sokéves átlagnak. Nem volt jobb a helyzet az általunk vizsgált rövid tenyészidejű kukorica 123 napos

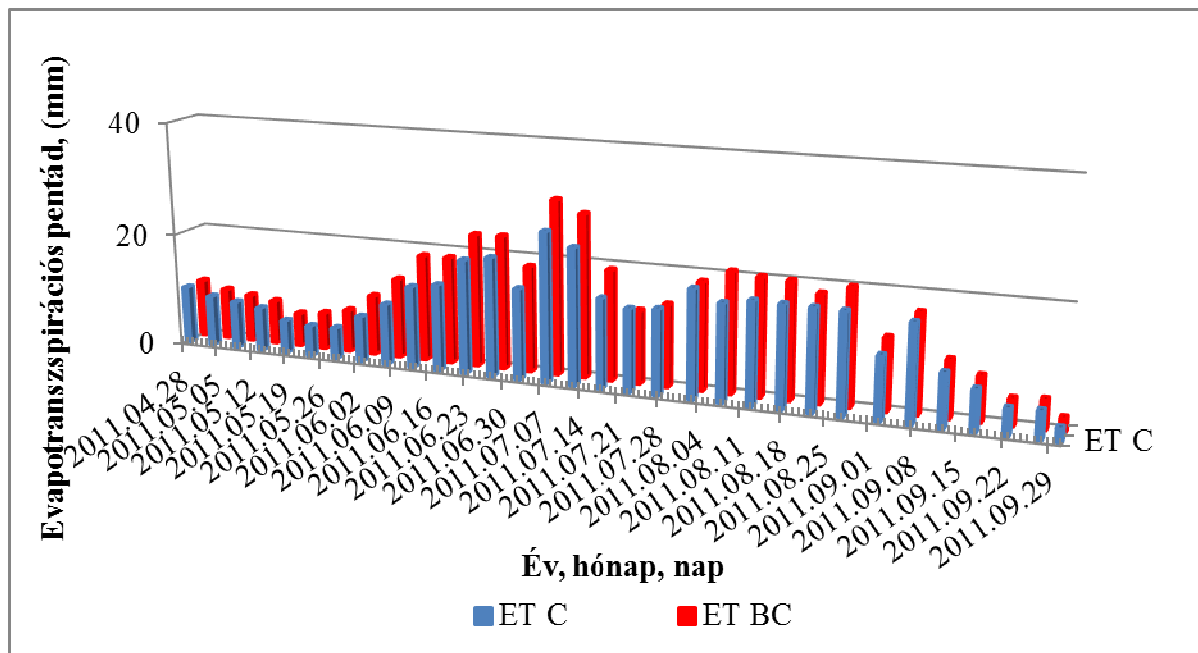
tenyészidőszakában sem, ahol 70 nap volt csapadékos. A 2010-es évjárat időjárása humid jellegű volt, mely a Kárpát-medence változékony éghajlatába bele illik, bár előfordulása jóval ritkább, mint az arid nyaraké. Addig, amíg minden harmadik év várhatóan száraz és meleg, a humid évjáratok jóval ritkábbak, tízévente egy várható belőlük. Szárazabb nyarakon a korábban elemzett cementszennyezés hatása (Anda, 1986), hasonlóan a júliusban mért koromszennyezéshez, jóval kifejezettebb volt a kukoricán.

A párolgás intenzitása – mely a levélterület-index és az elpárologtatott vízmennyiség aránya – megmutatja (13. ábra), hogy a korommal kezelt kukorica intenzívebben párologtatott 2010-ben, mint a kontroll kukorica. Ez a többlet, mely 6,41% volt ( $P < 0.008$ ) szignifikánsnak mutatkozott.



**13. ábra** A párolgás intenzitása 2010-ben a kontroll (ET C) és a korommal (ET BC) kezelt kukorica között százalékban kifejezve.

2011-ben az evapotranszpiráció pentád összegei (14. ábra) a következőképpen alakultak. A maximális párolgások július második pentádjánál a kontroll állományban 26 mm-t, a korommal kezelt állományban 30 mm-t tettek ki.



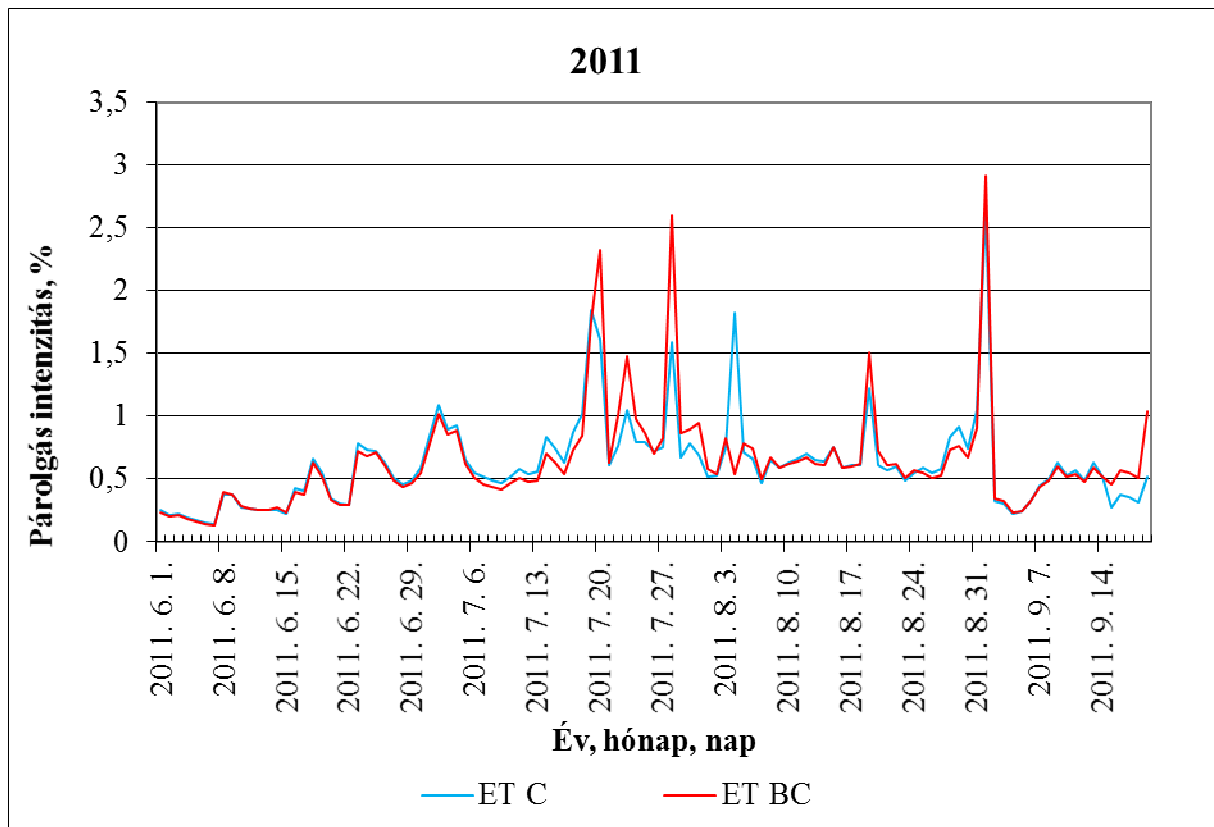
14. ábra A párolgás pentád összegei 2011 tenyészidőszakában

A napi párolgások legmagasabb értékei szintén júliusban voltak. Ekkor a kontroll állomány maximális napi párolgása 5,9 mm, a korommal kezeltnél 6,9 mm volt (július 9.).

2011-ben csak júliusban, s akkor sem minden időpontban tapasztaltunk 1-2%-os növekedést a kormos növények egy ségnyi zöldfelületére jutó vízvesztésében, mely az évi átlagban jelentéktelenné vált.

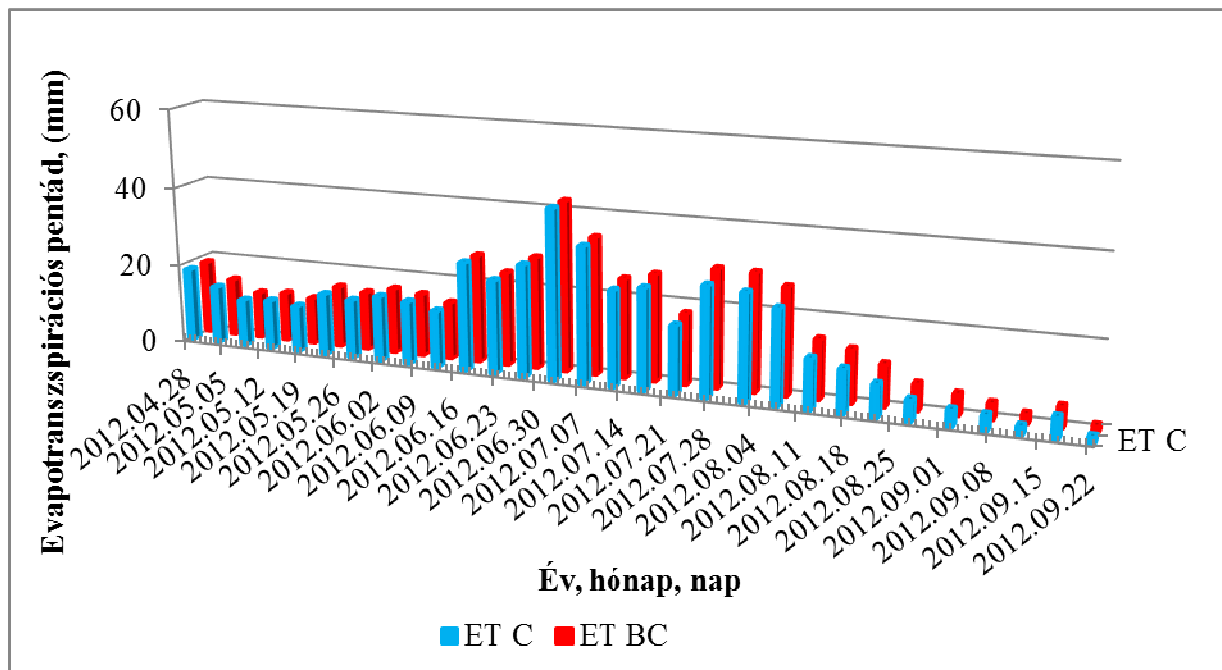
2011-ben is intenzívebben párolgotatott a korommal kezelt kukorica (15. ábra). Ez az intenzitás nem mutatkozott szignifikánsnak ebben az évben, de így is 2,61%-kal volt intenzívebb a kormos kukorica párolgása a kontroll kukoricához képest.





**15. ábra** A párolgás intenzitása 2011-ben a kontroll (ET C) és a korommal (ET BC) kezelt kukorica között százalékban kifejezve.

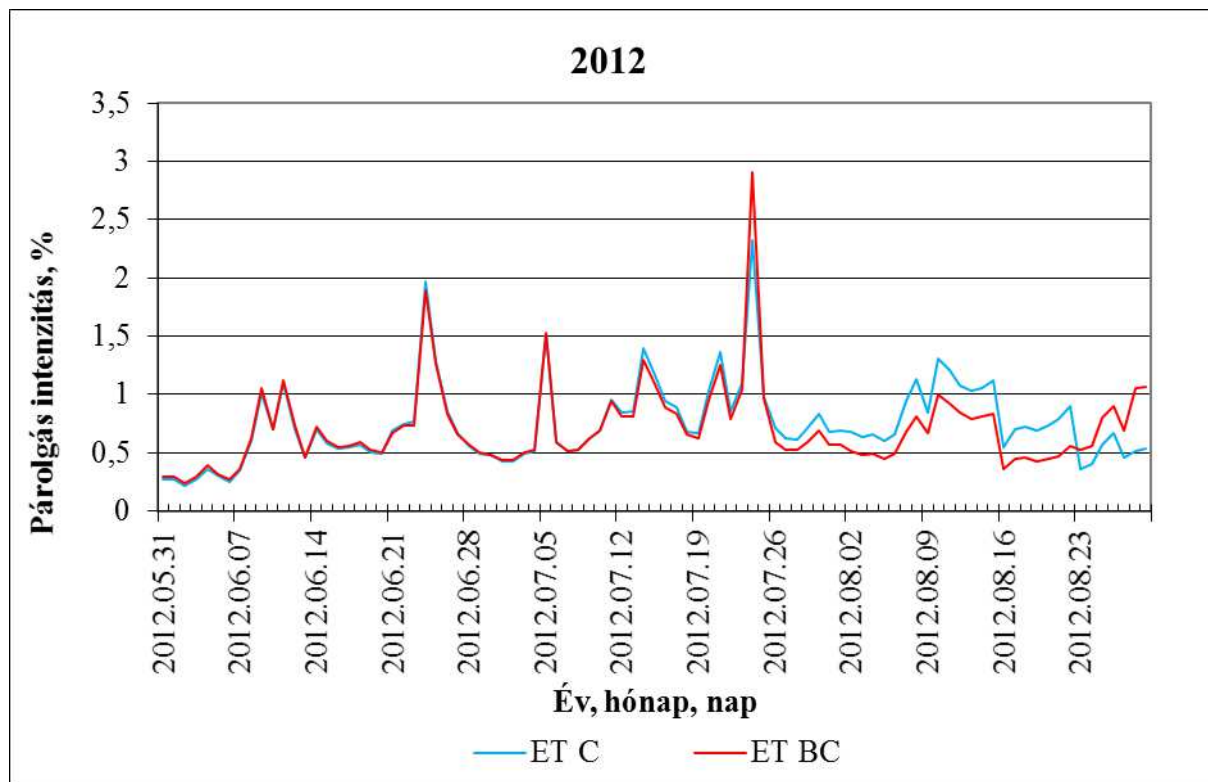
2012-ben az evapotranszspiráció pentád összegeinél nagyon magas értéket mértünk júliusban (*16. ábra*). Július első pentádjában 42 mm összegzett evapotranszspirációt mértünk mind a két kezelésben. A tenyészidőszak elején és végén alacsonyabbak voltak az értékek, amikor még nem volt olyan intenzív a besugárzás.



16. ábra A párolgás pentád összegei 2012 tenyészidőszakában

A maximális napi párolgás érték a kontroll és a kezelt állományban egyaránt 9,2 mm volt, és egymás után két nap is észleltük ezt az értéket (július 1-2.).

2012-ben 2011-hez hasonlóan nem mutatkozott szignifikánsnak a korommal kezelt kukorica párolgásának intenzitása a kontroll kukoricához képest (17. ábra), de itt is megfigyeltünk 4,37%-os növekedést a korommal kezelt állományban.



**17. ábra** A párolgás intenzitása 2012-ben a kontroll (ET C) és a korommal (ET BC) kezelt kukorica között százalékban kifejezve

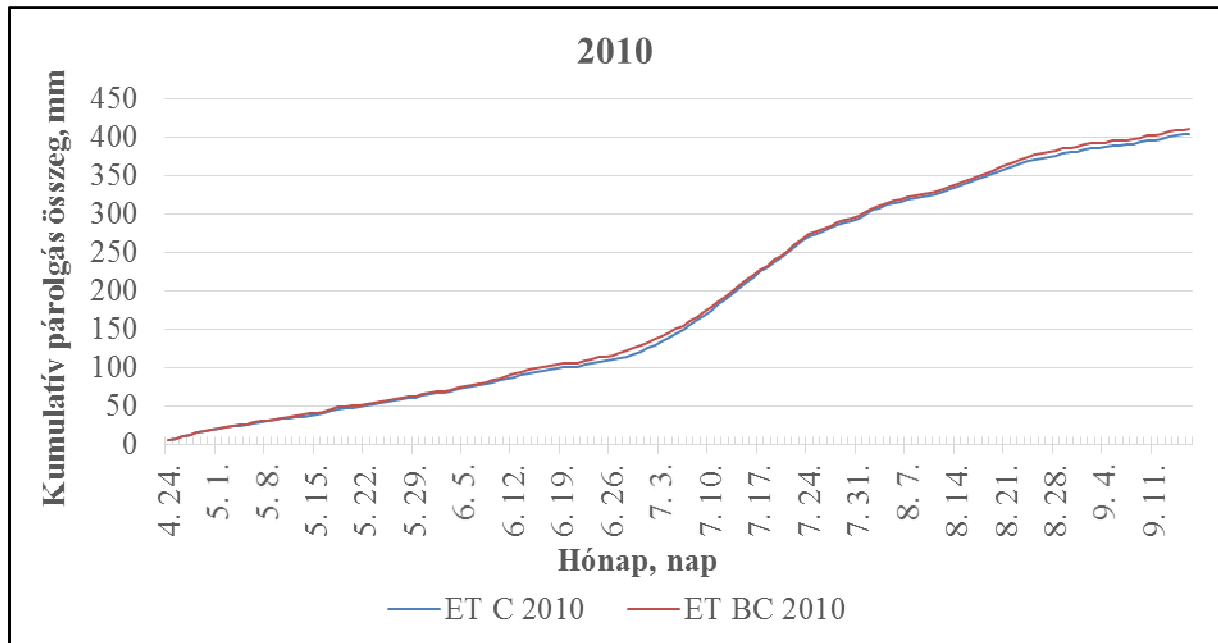
#### 4.2.4. Összegzés

Az évek összehasonlításából kitűnik, hogy a párolgást nagyban befolyásolta az évjárat. A legkisebb párolgást 2010-ben figyeltük meg, ehhez képest 2011-ben 1,2%-kal és 2012-ben 19,8%-kal párologtatott többet a kontroll kukorica. A korommal kezelt állományban is megfigyeltük ezt a tendenciát. 2010-ben volt a legkevesebb. 2011-ben 11,5%-kal és 2012-ben pedig 22,5%-kal többet párologtatott, mint a 2010-es év korommal kezelt kukoricája.

A korom hatását évek között is vizsgáltuk. 2010-ben és 2012-ben ugyan az eltérés nem mutatkozott nagynak, de mégis szignifikánsnak (18., 19., 20. ábrák). 2011-ben 11,82%-kal ( $P < 0.000$ ) többet párologtatott a korommal kezelt kukorica, mint a kontroll kukorica. A párolgás nagyban összefügg a kukorica LAI-vel, így ahol kisebb mértékű volt az összegzett párolgások különbsége, ott a LAI-ben sem volt jelentős változás, míg 2011-es szignifikáns levélfelület növekedés miatt a párolgás is magasabb volt.

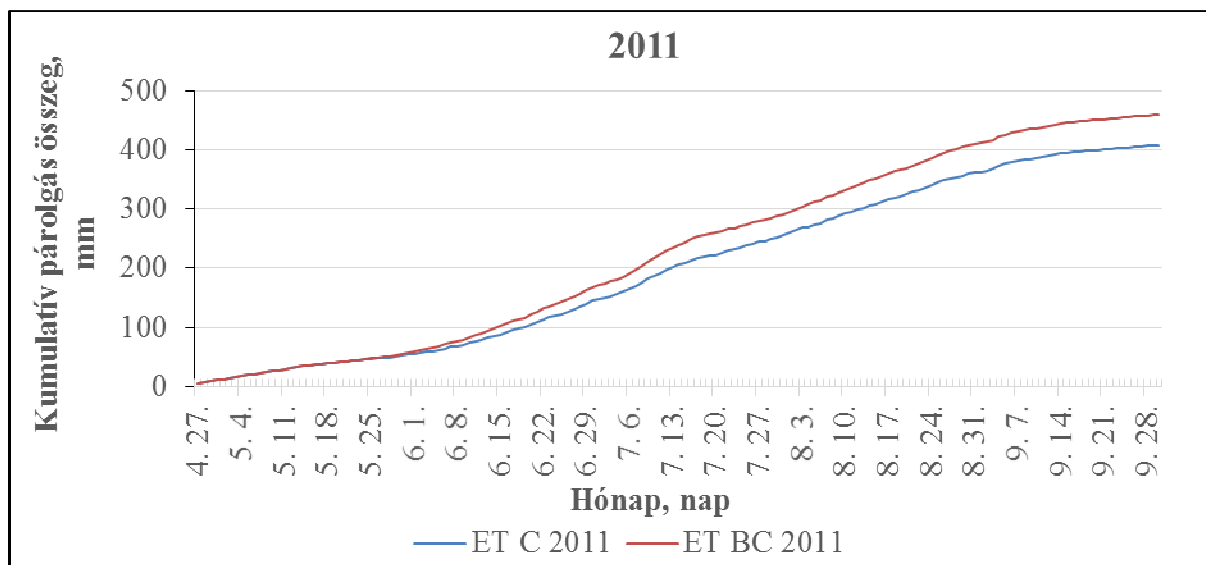
2010-ben a kumulatív párolgásösszeg mind a kontroll, mind a korommal szennyezett kukorica esetében meghaladta a 400 mm-t (18. ábra). A korommal szennyezett kukorica

kumulatív párolgás összege 1,58%-kal ( $P < 0,028$ ) volt nagyobb, mint a kontroll állományé, mely eltérés szignifikánsnak bizonyult.



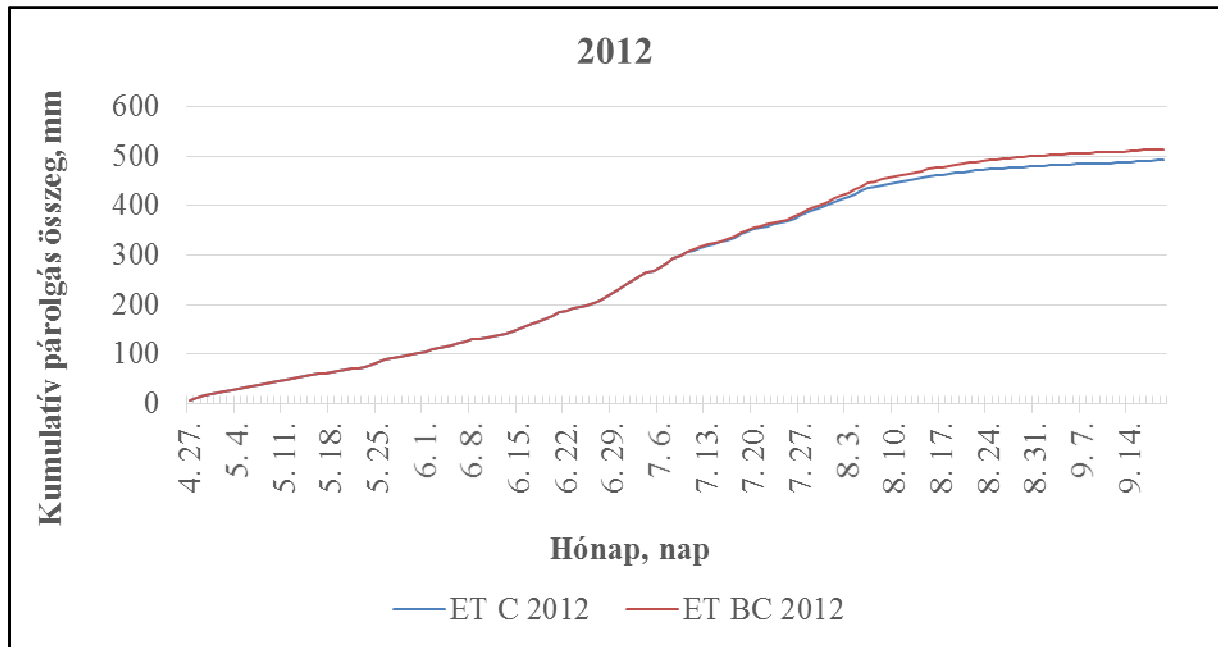
**18. ábra** A kumulatív párolgás összegek alakulása a kezelt (BC) és a kontroll (C) kukoricában 2010-ben.

2011-ben a kumulatív párolgás összeg mindkét kezelés esetén meghaladta a 400 mm-t (19. ábra). A korommal kezelt kukorica kumulatív párolgás összege 11,82%-kal ( $P < 0,000$ ) volt nagyobb, mint a kontroll állományé.



**19. ábra** A kumulatív párolgás összegek alakulása a kezelt (BC) és a kontroll (C) kukoricában 2011-ben.

2012-ben a kumulatív párolgás összeg a kontroll kezelésnél a 400, míg a korom kezelésnél meghaladta az 500 mm-t (20. ábra). A korommal kezelt kukorica kumulatív párolgás összege 4,32%-kal ( $P < 0,000$ ) volt magasabb, mint a kontroll kukoricáé.



**20. ábra** A kumulatív párolgás összegek alakulása a kezelt (BC) és a kontroll (C) kukoricában 2012-ben.

A kumulatív párolgás összegek *ábráiból* (18., 19., 20. ábra) is jól látszik, hogy korommal kezelt kukorica többet párologtatott mindhárom év tenyészidőszakában, mint a kontroll kukorica, mely különbség mindhárom évben szignifikánsnak mutatkozott. Laird et al. (2010) szerint a biomassza égetésből származó faszén mezőgazdasági alkalmazása során serkenti a párolgási arányokat, kissé növeli a vízveszteséget, mely a korom melegítő hatásának köszönhető.

Megfigyelésünk szerint minél melegebb az időjárás, a korom hatása az evapotranszpirációban annál erőteljesebb.

### 4.3. Mikroklíma elemek vizsgálata

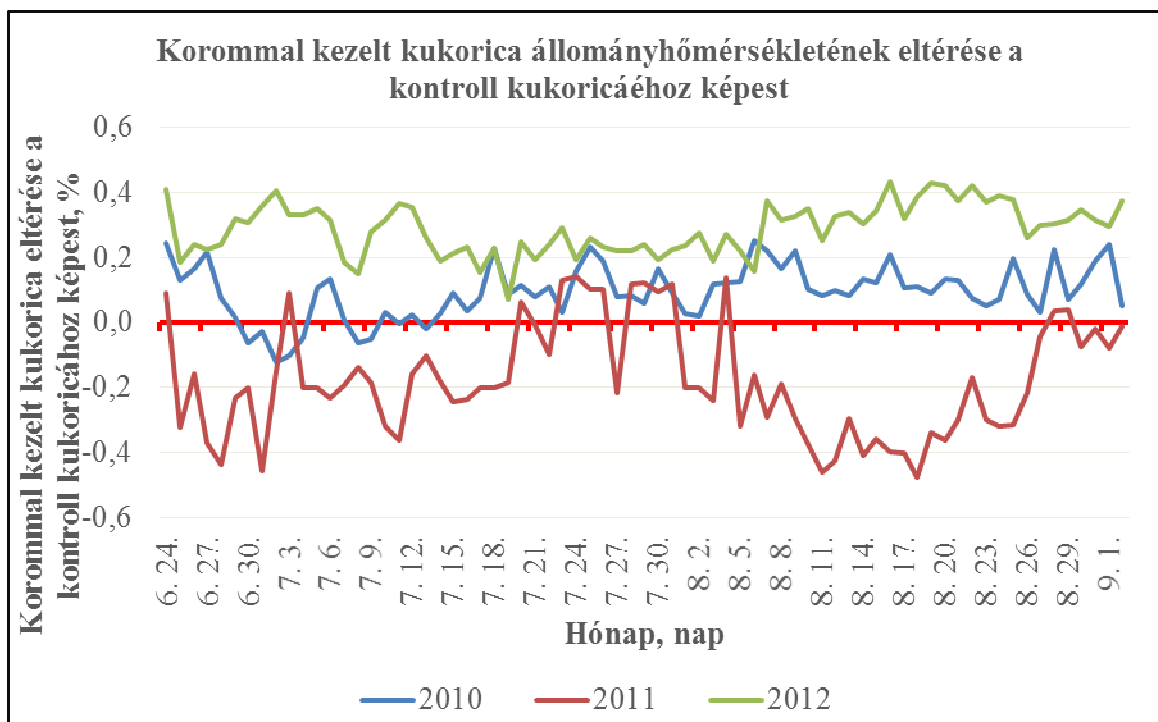
A kukorica állomány záródása után az állományi hőmérséklet fél fokkal melegebb volt, mint a levegő hőmérséklete 2 m magas standard szinten. A relatív nedvességtartalom

pedig néhány százalékkal alacsonyabb volt a kukorica állományban, mint 2 m magasban. Ez nem meglepő, hiszen Keszthelyen a Balaton mindössze 150 méterre volt a vizsgálati területtől. Az extra nedvesség éjszaka szállítódik a növényekbe („tavi” szél).

#### 4.3.1. Kukorica állomány léghőmérsékletének vizsgálata

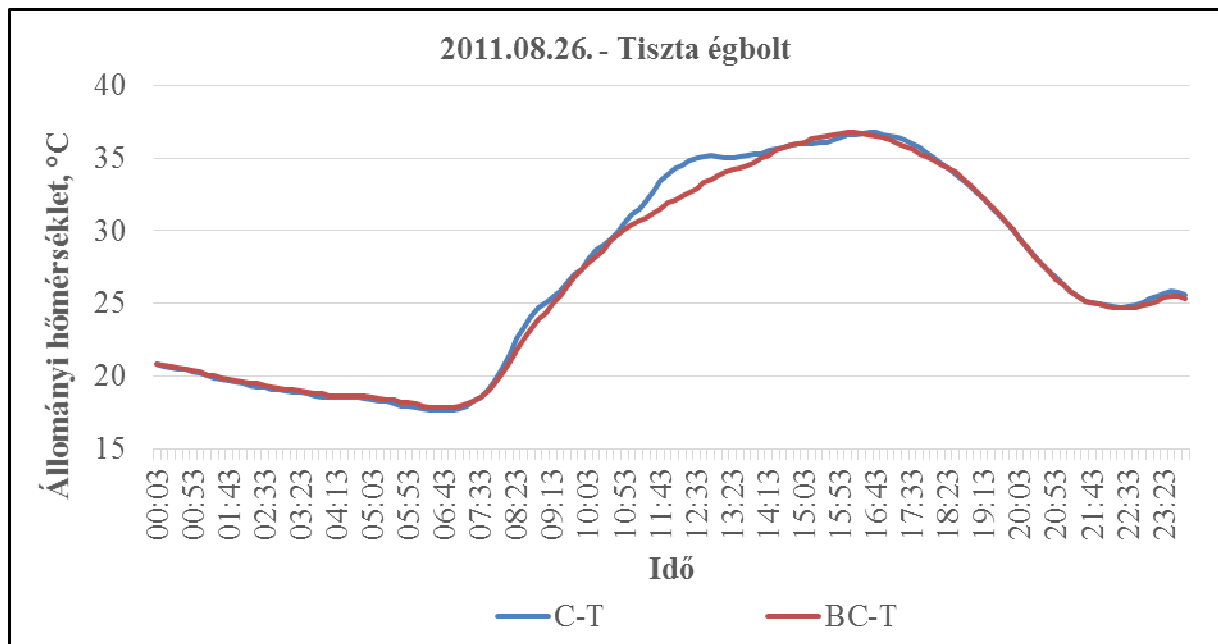
A kukorica állomány hőmérsékletének évek közötti összehasonlításából kitűnik, hogy mind a kontroll, mind a korommal kezelt kukorica állomány hőmérséklete 2011-ben és 2012-ben is magasabb volt, mint 2010-ben. Ez nem meglepő az időjárás alakulásának köszönhetően, hiszen 2010 tenyészidőszaka egy kifejezetten nedves és hűvös év volt. Az elemzésből az is kitűnik, hogy 2012-ben volt a legmagasabb mindkét kezelés állományának hőmérséklete.

A koromszennyezés hatását vizsgáltuk mindhárom évben (21. ábra). Az ábra a korommal kezelt kukorica hőmérsékletének eltérését mutatja a kontroll kukoricához képest. Az egész tenyészidőszak napi átlagainak adatsorát vizsgálva kitűnik, hogy a koromszennyezésnek nagy befolyása nem volt a kukorica állományon belüli átlaghőmérsékletére, viszont így is szignifikáns eltérés alakult ki a két kezelés között. 2010-ben a korommal szennyezett kukorica 0,09°C-kal ( $P < 0,000$ ) volt melegebb, mint a kontroll kukorica, 2011-ben 0,18°C-kal ( $P < 0,000$ ) volt hűvösebb a kontrollnál, és 2012-ben 0,29°C-kal ( $P < 0,000$ ) melegebb a korommal kezelt kukorica állományhőmérséklete.



**21. ábra** A korommal kezelt (BC) kukorica napi átlaghőmérsékletének %-os eltérése a kontroll (C) kukoricáéhoz képest 2010-es, 2011-es és 2012-es évek tenyészidőszaka alatt.

A tenyészidőszak napi változásait is vizsgáltuk külön olyan napokon, amikor borult és tiszta volt az égbolt. A napi változásokat nyomon követve megállapítottuk, hogy pár tized százalék eltérés van a két kezelés között. Minden hónapban választottunk egy tiszta égboltonapot és megállapítottuk, hogy a korommal szennyezett növénynek az állományon belüli léghőmérséklete 2011-ben kisebb volt, mint a kontroll állományé (22. ábra). Ennek a nagy levélfelület növekedés lehet a magyarázata. A növekedés miatt a korommal kezelt állomány zártabbá vált, és ennek köszönhetően nem melegedett fel olyan mértékben. Viszont ez a csökkenés még egy százalékot sem érte el.

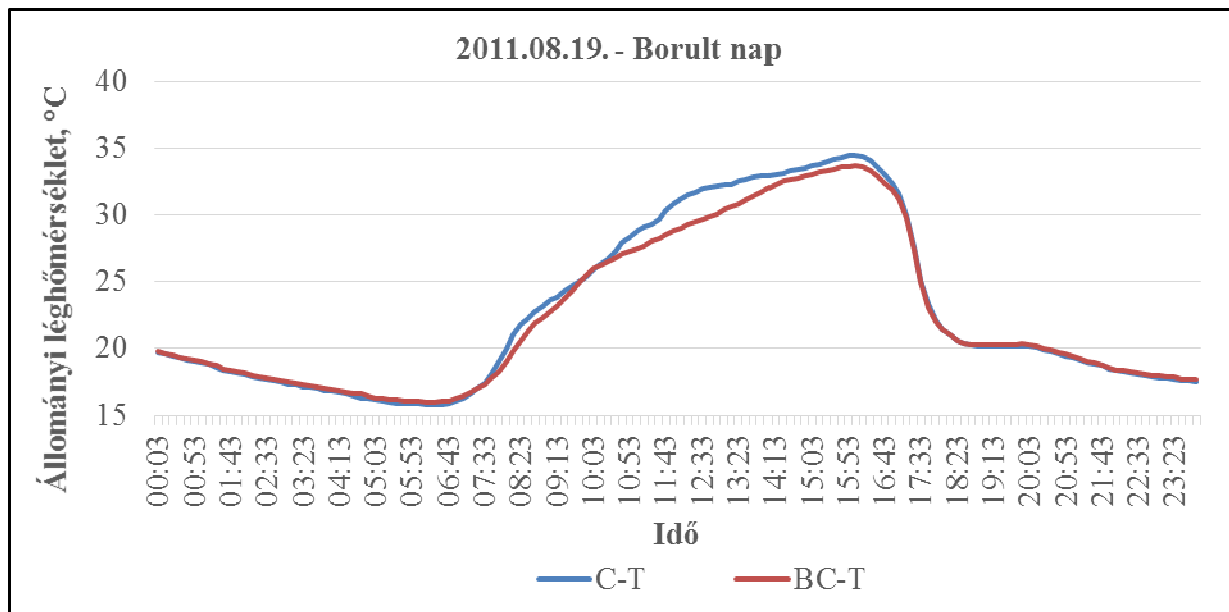


**22. ábra** A korommal kezelt (BC) és a kontroll (C) kukorica állományon belüli léghőmérsékletének napi alakulása 2011-ben.

2010-ben és 2012-ben a korommal szennyezett növények állományon belüli hőmérséklete nem mutatott eltérést a kontroll kukoricáéval tiszta égbolt esetében. A borult napokat is megvizsgáltuk (23. ábra). Ebben az esetben a korommal szennyezett kukorica állományi léghőmérséklete mindig magasabb volt a kontroll kukoricáéhoz képest. A napmagasságtól függetlenül, amikor a külső levegő hőmérséklete (2 m magasban) nem éri el a 20°C-ot, a szennyezett növény pár tized fokkal melegebb volt. Szignifikáns eltéréseket nem kaptunk.

A korommal kezelt kukorica hőmérséklete éjjel magasabb volt a kontrollhoz képest, mint nappal. A koromnak e melegítő hatását mindhárom évben tapasztaltuk, de csak az éjjeli órákban. Az éjszakai növekedés, és a nappali csökkenés napi átlagban kiegyensúlyozott, így eltérés minimális a két kezelés között. Mint tendencia megfigyelhető, hogy a felhős, hűvös napokon a szennyezett kukorica melegebb maradt még nyár végén és az őszi időszakban is. A korom melegítő hatását külföldi tanulmányok is alátámasztják (Fang és Moncrieff, 2001; Genesio et al., 2012).





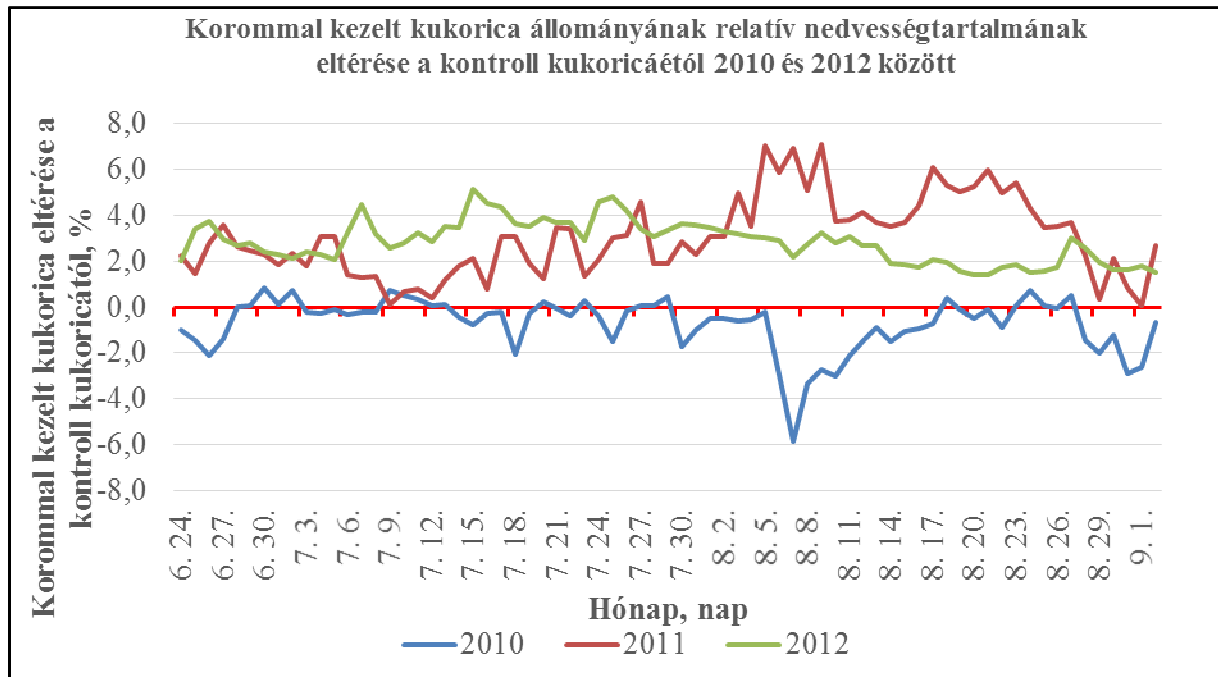
**23. ábra** A korommal kezelt (BC) és a kontroll (C) kukorica állományi léghőmérsékletének alakulása egy borult napon 2011-ben.

#### 4.3.2. Kukorica állomány relatív nedvességtartalmának vizsgálata

A két kezelés relatív nedvességtartalmának évek közötti vizsgálatában azt tapasztaltuk, hogy a melegebb időjárás következtében felmelegedett állományok alacsonyabb nedvességtartalommal rendelkeznek. 2010-ben mindig magasabb volt mindkét kezelés relatív nedvességtartalma, mint 2011-ben és 2012-ben. 2011-ben pedig szintén magasabb volt, mint 2012-ben.

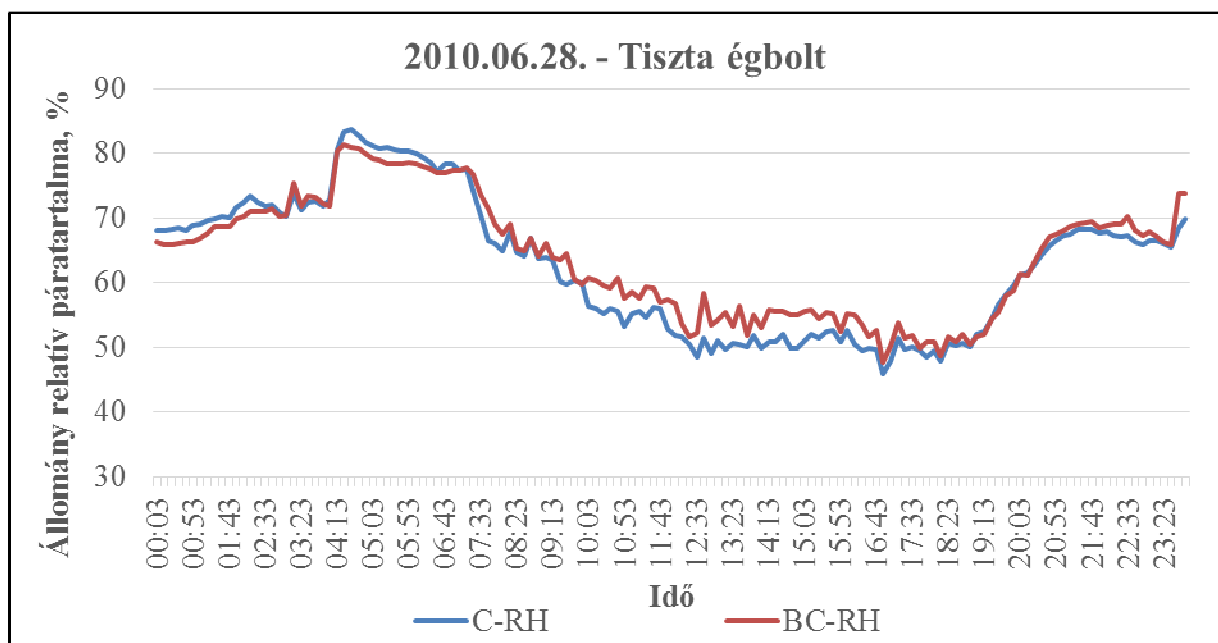
A korom hatását vizsgálva azt tapasztaltuk, hogy 2011-ben és 2012-ben magasabb volt a korommal kezelt kukorica relatív nedvességtartalma, mint a kontroll kukoricáé (24. ábra). Ez alátámasztja az időjárással való szoros kapcsolatot. 2010-ben lényeges különbség nem volt a két kezelés között, de ebben az évben a növények növekedésében sem volt nagy különbség, de szignifikáns eltérés ebben az évben is mutatkozott. 2010-ben a korommal szennyezett kukorica relatív nedvességtartalma 1,01%-kal ( $P < 0,000$ ) volt kevesebb, mint a kontroll kukoricáé. 2011-ben a korommal kezelt kukorica relatív nedvességtartalma 4,86%-kal ( $P < 0,000$ ), 2012-ben 5,09%-kal ( $P < 0,000$ ) volt magasabb, mint a kontroll kukoricáé. Ezek a változások szignifikánsak voltak. Ez a kormos növények magasabb párolgásával hozható

összefüggésbe, mely valószínűleg a megnövekedett energia felvétel következtében alakulhatott ki.

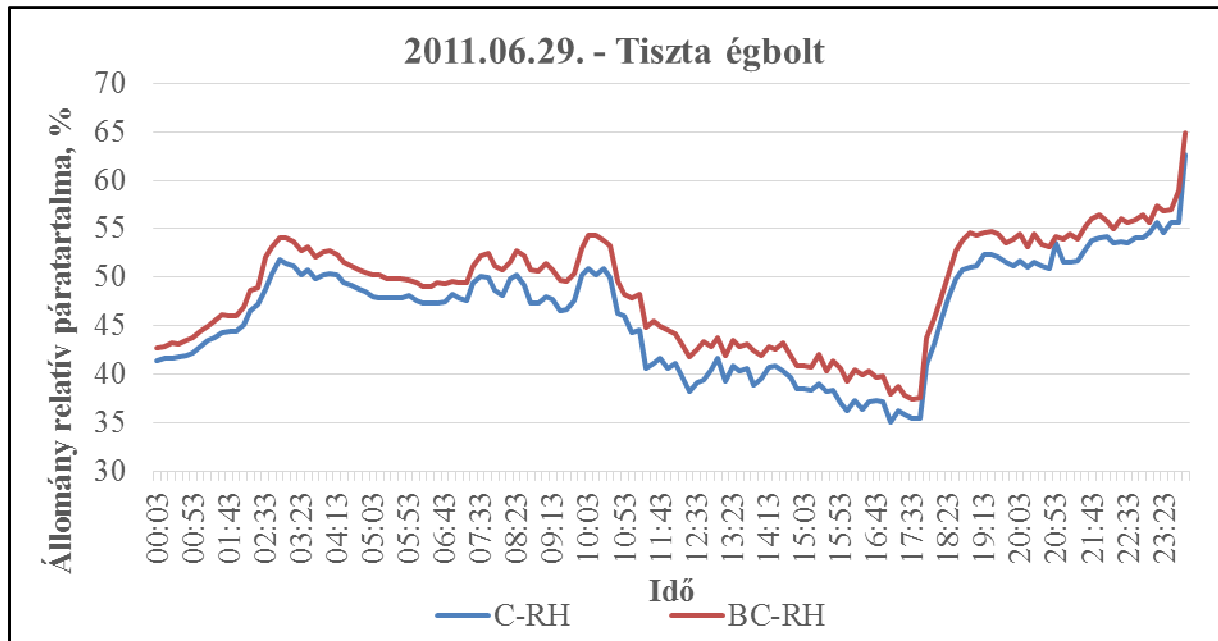


**24. ábra** A korommal szennyezett (BC) kukorica relatív nedvességtartalmának eltérése a kontroll kukoricáéhoz képest

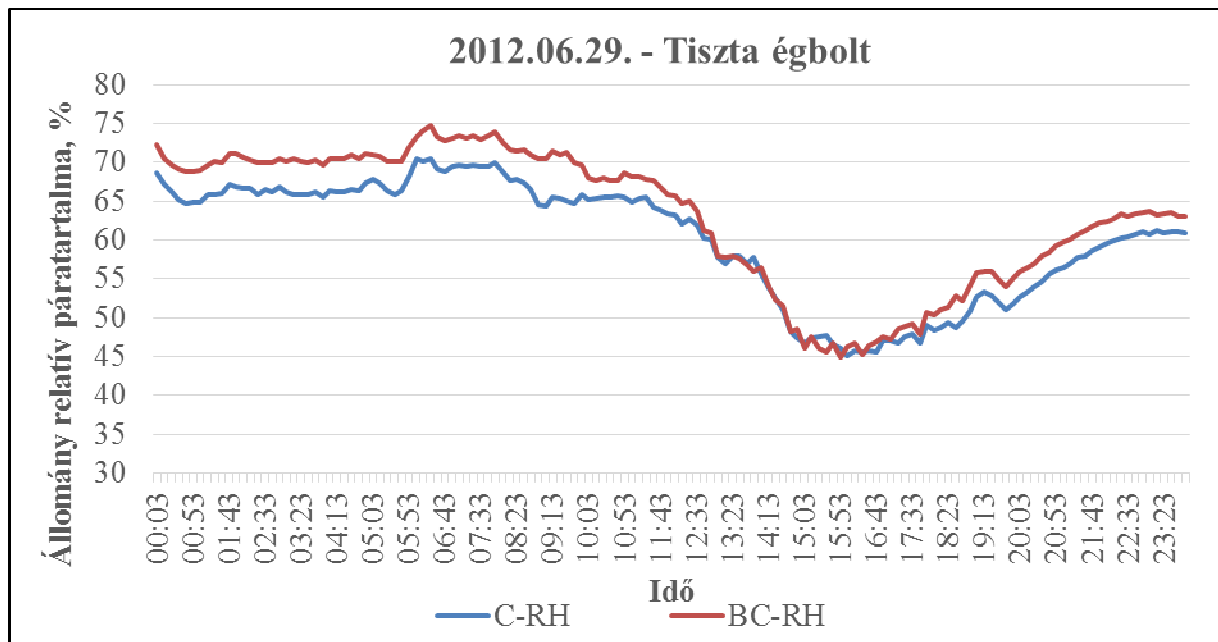
A napi relatív nedvességtartalmat vizsgálva megállapítottuk, hogy a korommal szennyezett növény napi átlagos relatív nedvességtartalma egy tiszta égboltos napon meghaladta a kontroll kukorica relatív légnedvesség tartalmát (25. ábra, 26. ábra, 27. ábra).



**25. ábra** A korommal szennyezett (BC) és a kontroll (C) kukorica relatív nedvességtartalmának (RH) alakulása 2010-ben egy tiszta égboltos napon.



**26. ábra** A korommal szennyezett (BC) és a kontroll (C) kukorica relatív nedvességtartalmának (RH) alakulása 2011-ben egy tiszta égboltos napon.

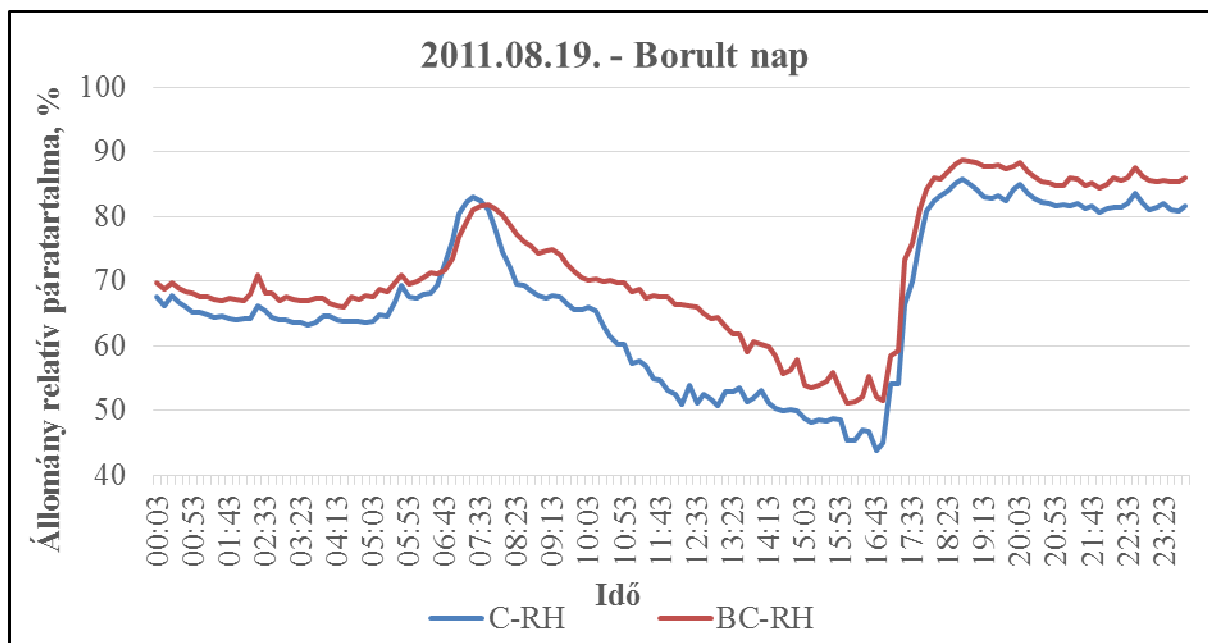


**27. ábra** A korommal szennyezett (BC) és a kontroll (C) kukorica relatív nedvességtartalmának (RH) alakulása 2012-ben egy tiszta égboltos napon.

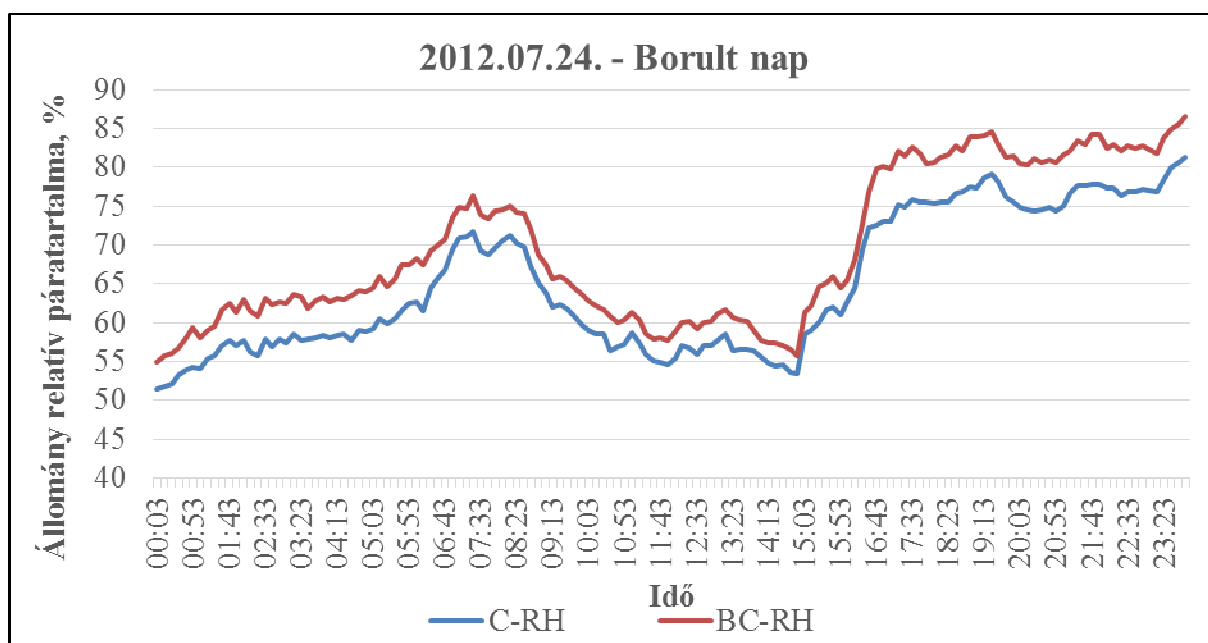
Minél melegebb volt egy év, annál alacsonyabb volt a relatív nedvességtartalma mindkét állománynak. Az előző ábrákon vizsgált három napon a relatív nedvességtartalom a következőképpen alakult. A kontroll állományban 2010.06.28-án a napi átlag 62,72%, 2011.06.29-én 46,34% és 2012.06.29-én 60,23% volt. A korommal kezelt állományban 2010.06.28-án 63,93%, 2011.06.29-én 48,78% és 2012.06.29-én 63,01% volt az állomány relatív nedvességtartalma. A korommal kezelt állomány napi relatív nedvességtartalma a kontroll kukoricáéhoz képest mindhárom tiszta égboltos napon szignifikánsan eltért egymástól. 2010.06.28-án a korommal kezelt kukorica relatív nedvességtartalma 1,9%-kal ( $P < 0,000$ ) volt magasabb, mint a kontroll kukoricáé. 2011.06.29-én a korommal kezelt kukorica relatív nedvességtartalma 5,1%-kal ( $P < 0,000$ ) volt nagyobb, mint a kontroll kukoricáé. 2012.06.29-én a korommal kezelt kukorica relatív nedvességtartalma 4,5%-kal ( $P < 0,000$ ) volt nagyobb, mint a kontroll kukoricáé.

Július hónapban a fent leírt tendenciát követi a kezelések relatív nedvességtartalma, amikor már az állomány teljesen zárt volt. A két kezelés közti különbség csökkent mindhárom vizsgált évben. Augusztusban szintén magasabb volt a korommal kezelt állomány relatív nedvességtartalma. 2012 augusztusában a napi átlagok lecsökkentek a nagy szárazság miatt, a növényeknek alig volt nedvesség forrásuk. Míg júniusban és júliusban 60% körüli volt mindkét kezelés relatív nedvességtartalma, addig 2012 augusztusban csupán 45% körüli. Ennek oka a nagyon kevés csapadék lehetett (5 mm egész hónapban).

A borult napokat vizsgálva is szignifikánsan magasabb volt a korommal kezelt kukorica relatív nedvességtartalma mindhárom vizsgált évben (28. ábra, 29. ábra). 2011.08.19-én a korommal szennyezett kukorica napi relatív nedvességtartalma 7,2%-kal ( $P < 0,000$ ) magasabb volt, mint a kontroll kukoricáé. 2012.07.24-én a korommal kezelt kukorica napi relatív nedvességtartalma 6,8%-kal ( $P < 0,000$ ) volt magasabb, mint a kontroll kukoricáé. 2010.07.25-én a két kezelés közötti eltérés 0,3%-os ( $P < 0,02$ ) volt, de szignifikáns. A két szárazabb évben nagyobb volt a különbség egy borult napon a kezelések között.



**28. ábra** A korommal szennyezett (BC) és a kontroll (C) kukorica relatív nedvességtartalmának (RH) alakulása egy borult napon 2011-ben (2011.08.19.)



**29. ábra** A korommal szennyezett (BC) és a kontroll (C) kukorica relatív nedvességtartalmának (RH) alakulása egy borult napon 2012-ben (2012.07.24.)

A napi átlagok is másképpen alakultak, mint egy tiszta égbolton napon. Jóval magasabb értékeket kaptunk, magasabb volt az állomány nedvességtartalma (2. táblázat).

**2. táblázat** A korommal szennyezett és a kontroll kukorica relatív nedvességtartalmának (RH) alakulása borult és tiszta égbolt esetében 2010 és 2012 között (3 nap átlagai).

	2010		2011		2012	
	Tiszta égbolt	Borult égbolt	Tiszta égbolt	Borult égbolt	Tiszta égbolt	Borult égbolt
Kontroll kezelés	58,04	77,46	51,85	70,37	56,47	60,79
Koromszennyezett kezelés	59,14	77,17	53,56	73,22	58,88	64,06

#### 4.3.3. Összegzés

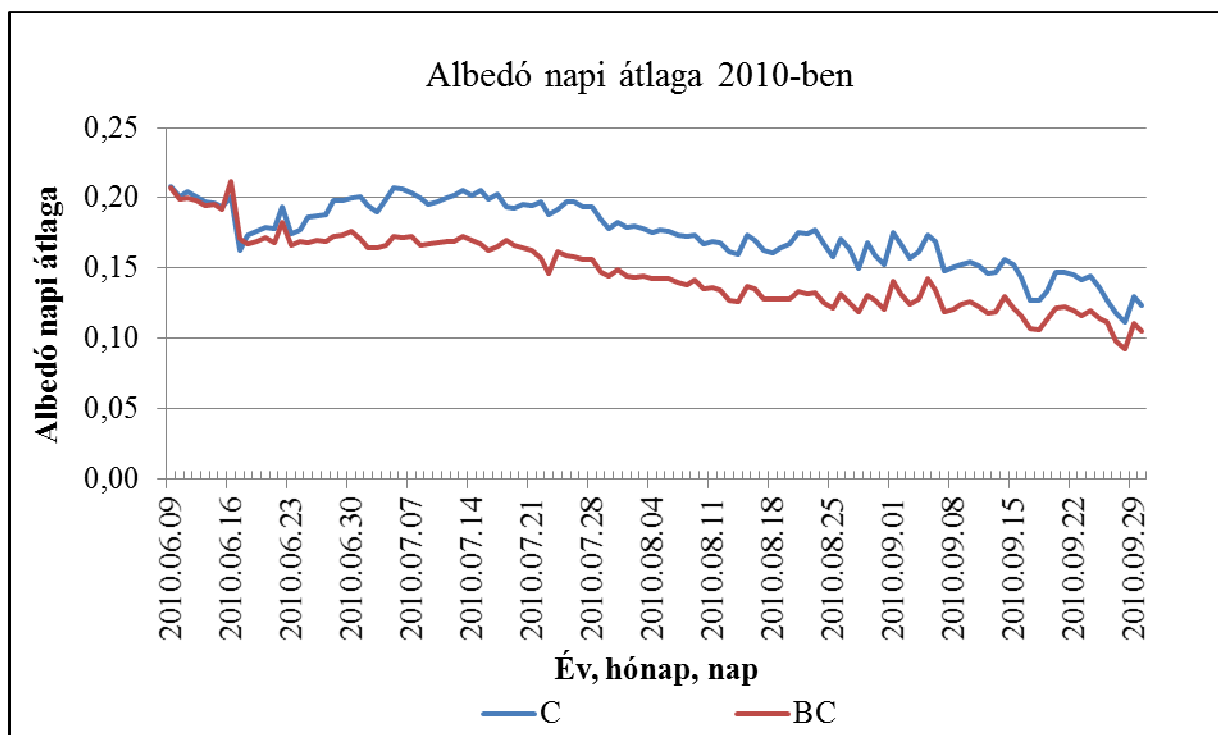
A két kezelés kukorica állományának mikroklíma elemzése során kiderült, hogy a korom szennyezésnek az egész tenyészidőszakot figyelembe véve szignifikáns hatása volt mind az állományon belüli léghőmérsékletre, mind a relatív nedvességtartalomra. 2010-ben a korommal szennyezett kukorica léghőmérséklete és relatív nedvességtartalma kevesebb volt, mint a kontroll kukoricáé. 2011-ben és 2012-ben amikor az időjárás is melegebb volt, mint az előző év, a különbségek is jobban mutatkoztak a két kezelés között. Szignifikáns emelkedést tapasztaltunk mind a két fent bemutatott (állományi léghőmérséklet és állományi relatív nedvességtartalom) mikroklíma paraméter esetében. Az éjszakai és kora reggeli órákban a korommal szennyezett kukorica melegebb volt, mint a kontroll kukorica. Napközben viszont a kontroll kukorica volt melegebb, mint a koromszennyezett kukorica. Ezek az értékek napi átlagban kiegyensúlyozottak voltak. A relatív nedvességtartalom tekintetében a korommal szennyezett kukorica tiszta és borult égbolt esetében magasabb nedvességtartalommal rendelkezett, mint a kontroll állomány. A kezelt állomány nedvességtartalma nagyobb volt, viszont a léghőmérséklete egy melegebb évben kisebb volt. Ez összefüggésben állhat a megnövekedett levélfelülettel, hiszen a zártabb kormos állomány kevésbé melegedett fel, mint a kontroll állomány. A korom tendencia jelleggel mindhárom évben növelte a kukorica zöldfelületét, és ez által a növénynek még több energiára lehetett szüksége. Ennek a többlet energiának egy része a párologtatásra fordítódott, mely összefüggésben állhat a magasabb relatív nedvességtartalom értékekkel. Egy csapadékosabb, hűvösebb évben a különbségek minimálisak voltak, így az öntözés csökkentheti a növényekben kialakult stressz időjárás érzékenységét is.

## 4.4. Sugárzási jellemzők alakulása a koromszennyezés hatására

### 4.4.1. Albedó

Az albedó a különböző felszínek legkönnyebben mérhető sugárzás visszaverést számszerűsítő mutatója, mely minél magasabb, annál nagyobb a globál sugárzás állományi vesztesége, visszaverődése. Korábbi vizsgálatok bizonyították, hogy a kukorica átlagos albedója 0,18 és 0,22 közé esik (Davies és Idso, 1979; Hatfield és Carlson, 1979; Oke, 1987; Campbell és Norman, 1998).

2010-ben az albedó értékeinek évi átlaga a kontroll parcellán 0,17 és a korommal kezelt parcellán pedig 0,14 volt. A korommal kezelt kukorica albedója 17,34%-kal ( $P < 0,000$ ) kevesebb volt, mint a kontroll kukoricáé (30. ábra). Ez a csökkenés szignifikánsnak mutatkozott.



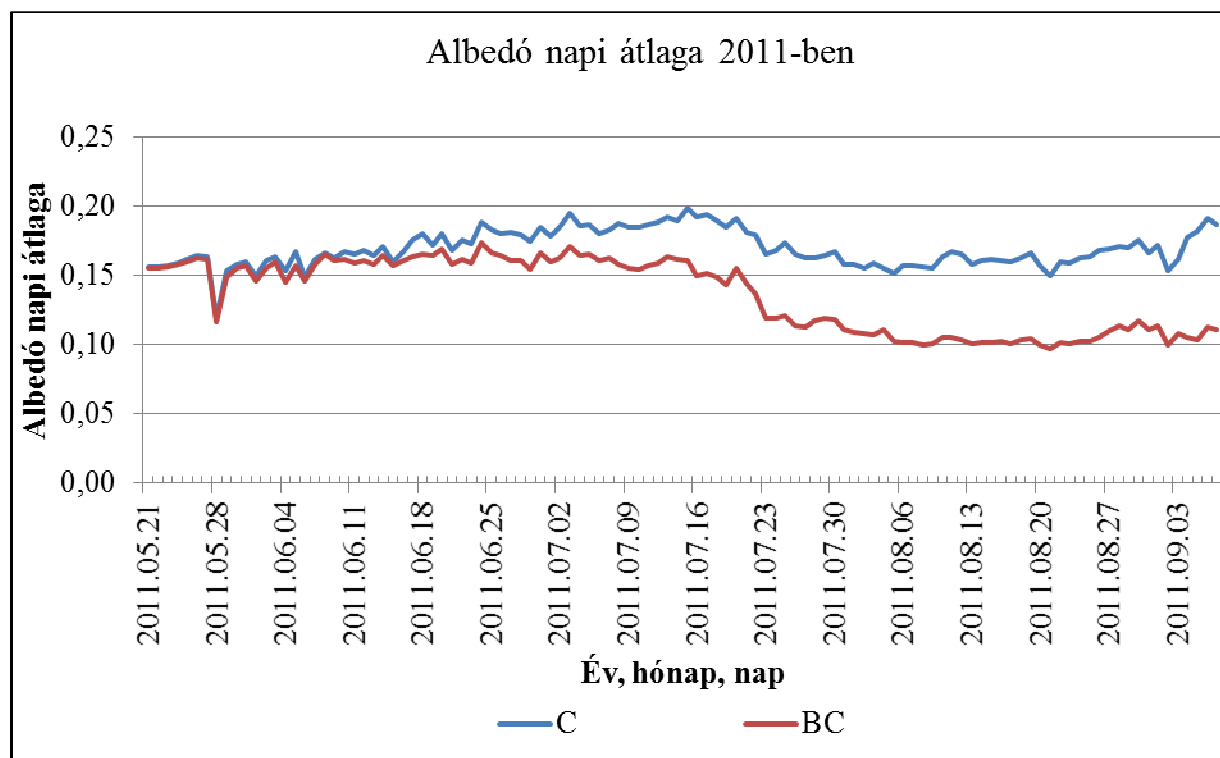
**30. ábra** Albedó napi átlagának alakulása 2010-ben a kontroll (C) és a korommal kezelt (BC) kukorica állományban.

A kezdeti mérések azt mutatják, hogy a korommal kezelt kukorica albedója a vizsgált időszak elején lényegesen nem tért el a kontroll kukoricáétól, a két görbe szinte egyszerre haladt, viszont a folyamatos szennyezés hatására eltérés alakult ki a két kezelés között még

egy ilyen csapadékos évben is. A korom miatti sötétebb állománynak kisebb albedója lett, jobban elnyelte a napsugárzást. Genesio et al. (2012) kutatása is alátámasztja a koromnak az albedó csökkentő hatását. Biomassza pirolízisből keletkező faszén (biochar) agronómia felhasználásának következményeit vizsgálták a felszíni albedóra. Itt ugyan a talajon történő változásokat vizsgálták, de eredményeik a növényeken történő alkalmazás során is jelentkeznek. Megállapították, hogy a korom lényegesen befolyásolja a talaj felszíni energia egyensúlyát. Esetünkben a többlet energia a párologtatásra fordítódott, lásd. korábbi párologás összehasonlítás eredményeit.

2010-ben tovább történt az albedó mérés, mint a következő két évben, mivel a csapadékosabb időjárás meghosszabbította az adatsorunkat, később következett be a leszáradás (szeptember 23.).

Az előző évhez képest 2011-ben nem hullott annyi csapadék, így jobban érvényesült a korom hatása az albedóban (31. ábra). A kontroll parcella albedójának évi átlaga 16,91% volt, a korommal kezelt parcellán pedig 13,59%, kisebb, mint az előző évben, viszont itt rövidebb volt a mérés, előbb történt meg a kukorica leszáradása a száraz-meleg időjárás miatt.



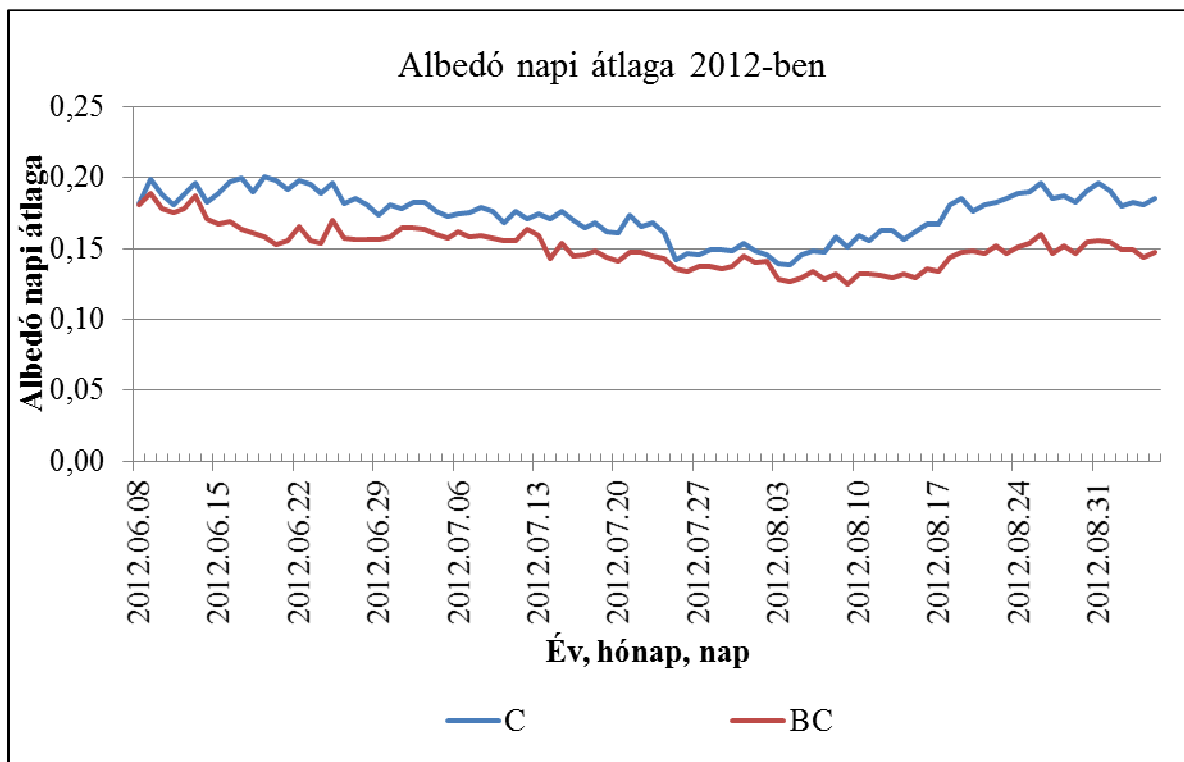
**31. ábra** Albedó napi átlagának alakulása 2011-ben a kontroll (C) és a korommal kezelt (BC) kukorica állományban.



Az értékek a kezdeti szakaszban közel azonosak voltak, mint előző évben, majd a folytonos szennyezés hatására egyre nagyobb lett a két értéksor között a különbség. A tenyészidőszak végén a teljes leszáradásig, mely ebben az évben korábban jelentkezett (szeptember 9.) nagymértékben eltér már a két görbe futása. Ezt mutatja a szignifikáns 21,75%-os ( $P < 0,000$ ) csökkenés a korommal szennyezett kukorica albedójában a kontroll kukoricához képest. 2011-ben jelentősebb volt az albedó csökkenés, mely összefüggésben állhat a csapadékmennyiség alakulásával. Ha kevesebb csapadék hullik, akkor jobban a növény felületén marad a korom, kevésbé mossa le az eső, így jelentősebb hatást gyakorol a növényi jellemzőkre is.

2012-ben az albedó értékeinek éves átlaga a kontroll parcellán 17,4%, míg a korommal szennyezett parcellán 15,05% volt. A korom a harmadik vizsgált évben is szignifikánsan csökkentette (14,45% ( $P < 0,000$ )) a kukorica albedóját.

2012-es görbén látható, hogy a nagyobb eltérések akkor következtek be, amikor kevesebb volt a csapadék (32. ábra). Július hónapban közel azonos volt a csapadékbevitel, mint a sokéves átlag, ennek következtében kiegyenlítettebbek voltak a görbék, viszont augusztusban nagyon kevés volt a csapadékbevitel (5 mm), ekkor a görbék is jobban eltértek.

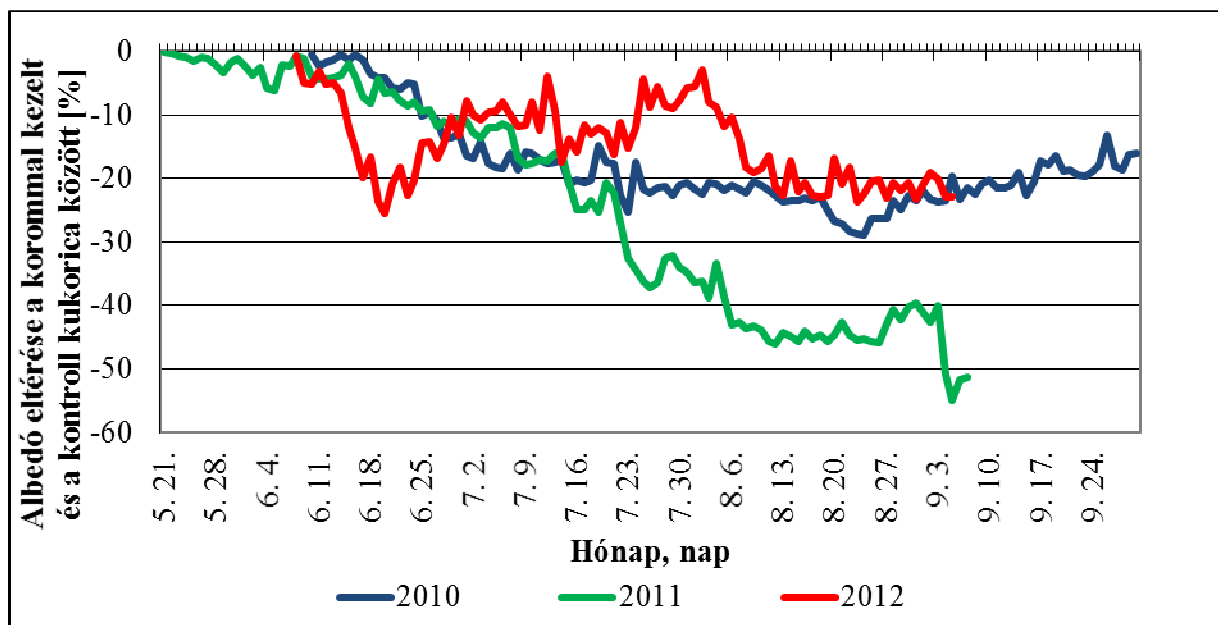


**32. ábra** Albedó napi átlagának alakulása 2012-ben a kontroll (C) és a korommal kezelt (BC) kukorica állományban.

2012-ben a két kezelés értékei nem tértek el olyan mértékben, mint az előző évben, de a korom hatása ebben az évben is megmutatkozott.

#### 4.4.2. Összegzés

A kutatás során vizsgált mindhárom évben a korom jelentősen csökkentette a kukorica albedóját a kontroll kukoricához képest (33. ábra). A korom okozta albedó csökkenést számos kutatás alátámasztja (Hadley és Kirchstetter, 2012; Flanner et al., 2007; Hansen és Nazarenko, 2004), melyek szerint a Földön található összes jégmezőn nyomokban felfedezhetőek a koromlerakódások, így csökkentve a jég albedóját. A csökkenés 2011-ben volt a legjelentősebb mikor is lényegesen kevesebb csapadék hullott, mint a sokéves átlag és az évi középhőmérséklet is magasabb volt. Így a növényen a korom jobban megtapadhatott a lemosódás hiánya miatt. Oguntunde és Van de Giesen (2004) kutatása szoros kapcsolatot feltételez a kukorica albedója és a LAI-e között. A mi kutatásunk során az időjárás nagyobb befolyásoló tényezőnek mutatkozott. A másik két évben is látványos volt a csökkenés, de nem olyan nagymértékben, bár így is szignifikánsnak mutatkozott. Látszik, hogy július hónapban mindhárom évben közel azonos volt az albedó. Ez annak tudható be, hogy ebben a hónapban nem tértek el lényegesen sem a csapadék, sem a hőmérséklet értékek a sokéves átlaghoz képest. Az albedót nagyban befolyásolta az időjárás. Ez a mért érték, mely a legnagyobb állandóságot mutatta mindhárom évben, s a korom hatása is itt mutatkozott meg a legstabilabban.



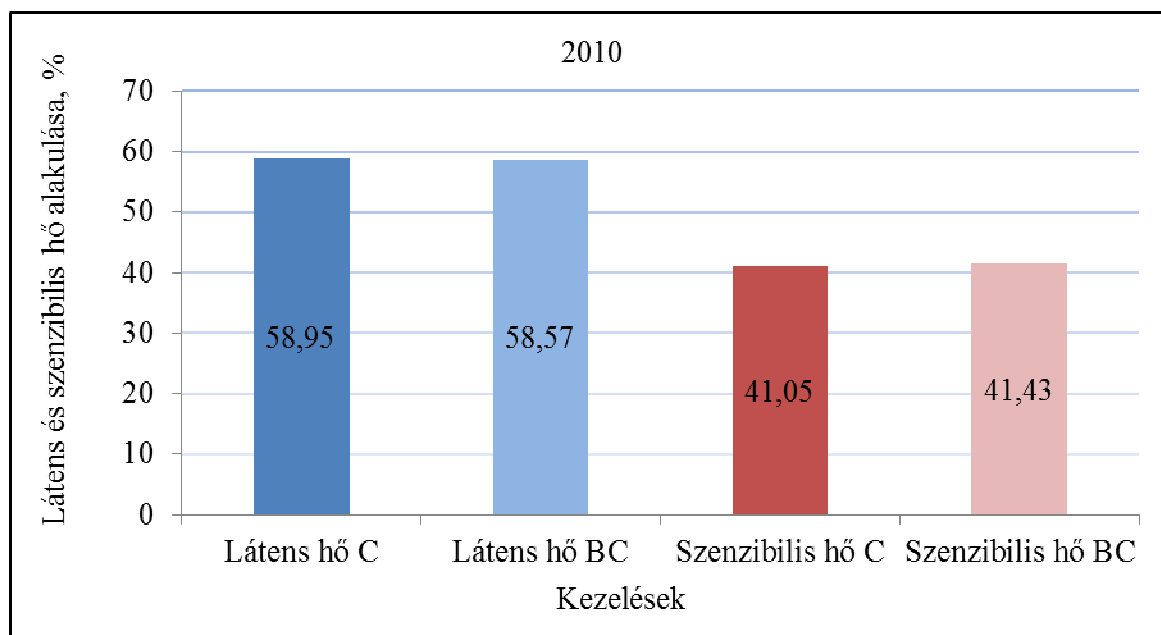
**33. ábra** Korommal kezelt kukorica albedójának eltérése a kontroll kukoricához képest %-ban kifejezve 2010-2012 között

Összefoglalva elmondható, hogy a csapadékbevétel az egyik legnagyobb befolyásoló tényezője az albedó alakulásának. Minél jobban csökkent az albedó értéke, annál nagyobb volt a növények energiafelvételi kényszere, mely energiátöbblet a magasabb párolgásra fordítódott.

#### 4.4.3. Látens és szenzibilis hő, Bowen-arány

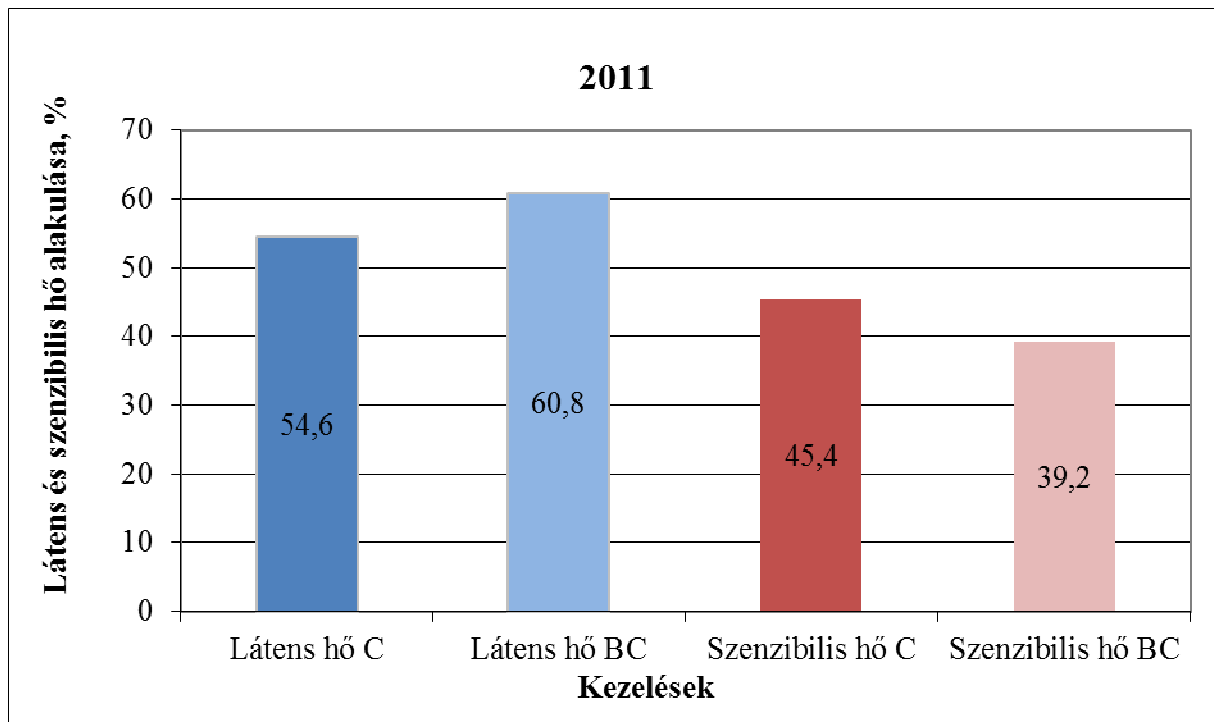
A következő energiaháztartási jellemzők, melyek segítségével a párolgásról és az állományban maradt energiáról kapunk információt, a látens és szenzibilis hő és a Bowen-arány.

2010-ben a koromkezelésnél sem a szenzibilis, sem a látens hő, s így a Bowen-arányban sem tapasztaltunk szignifikáns eltérést a kontroll kezeléshez képest (34. ábra). Ebben az évben a levélfelület is azonosnak tekinthető, s végül a Bowen-arány eltérése a korommal kezelt parcella és a kontroll parcella között csupán 1,9% volt, mely igencsak csekély főképpen a következő év jelentősebb változásához képest.



**34. ábra** Látens és szenzibilis hő alakulása a kontroll (C) és a korommal kezelt (BC) kukorica között 2010-ben.

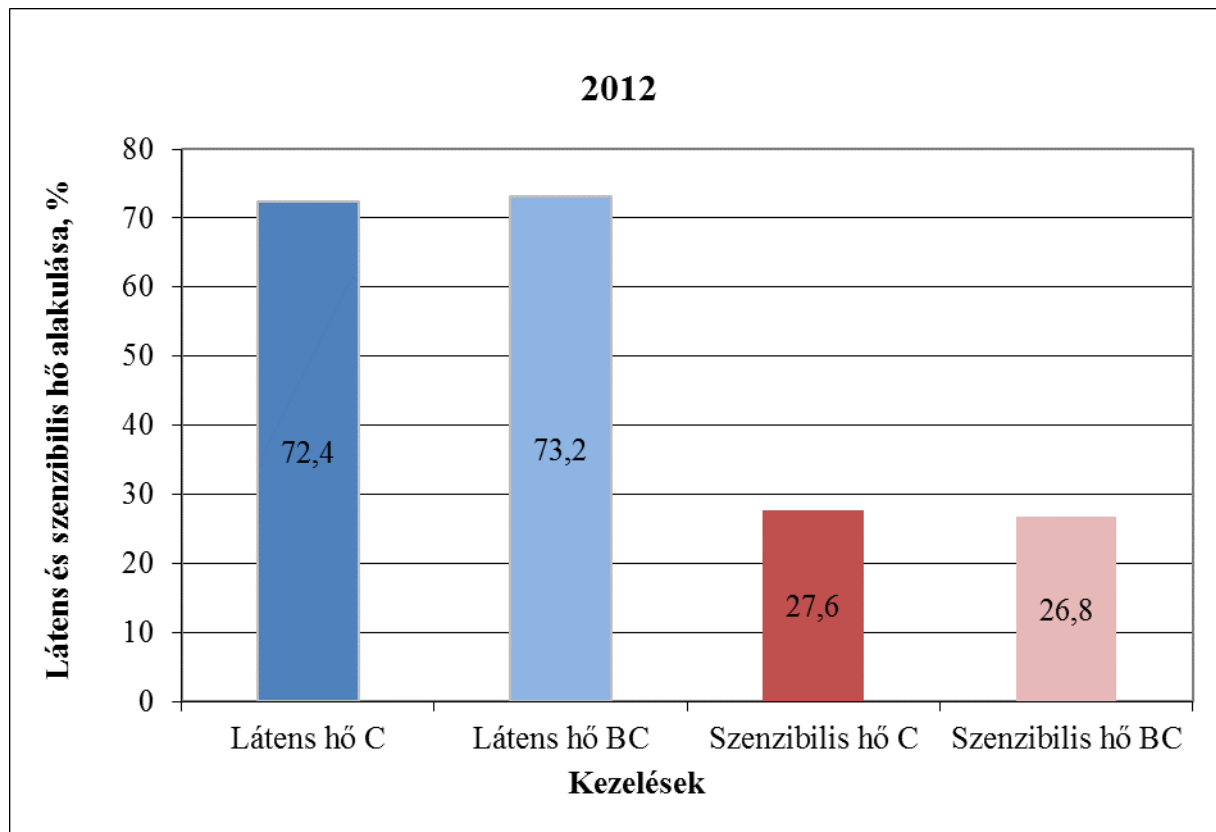
2011-ben a jelentősebb levélfelület növekedés miatt magasabb párolgás mutatkozott a kormos állományban. Ezt támasztja alá a 10,9%-kal ( $P < 0,000$ ) megnövekedett látens hő a korommal kezelt növényeknél (35. ábra). A koromszennyezés hatására a megnövekedett zöldfelületű kukorica állomány zártabb volt, mint a kontroll állomány, ennek következtében a korommal kezelt kukorica kevésbé melegedett fel, s ezt tükrözi a szenzibilis hő csökkenése. 14,8%-os ( $P < 0,000$ ) volt a szenzibilis hő csökkenése a kontroll kukoricához képest.



**35. ábra** Látens és szenzibilis hő alakulása a kontroll (C) és a korommal kezelt (BC) kukorica között 2011-ben.

2011-ben mind a látens hő, mind a szenzibilis hő változása a koromszennyezés hatására jelentős volt, így a Bowen-arány is annak minősült, 18,7%-kal ( $P < 0,000$ ) volt kisebb a kormos kukorica Bowen-aránya, mint a kontroll kukoricáé.

2012-ben is változott a látens hő a korommal kezelt kukoricában. Előző év jelentősebb különbsége után 2012-ben csupán 1,13%-kal ( $P < 0,000$ ) volt nagyobb a látens hő a korommal kezelt kukoricánál, de mégis szignifikánsnak mutatkozott (36. ábra).. A látens hő tükrében a szenzibilis hő is szignifikánsan változott ebben az évben (3,02% ( $P < 0,000$ )), viszont ez a csökkenés nem volt olyan nagymértékű, mint 2011-ben.



**36. ábra** Látens és szenzibilis hő alakulása a kontroll (C) és a korommal kezelt (BC) kukorica között 2012-ben.

A korommal kezelt kukorica Bowen-aránya 2012-ben pedig 15,49%-kal ( $P < 0,000$ ) volt kisebb, mint a kontroll kukoricáé.

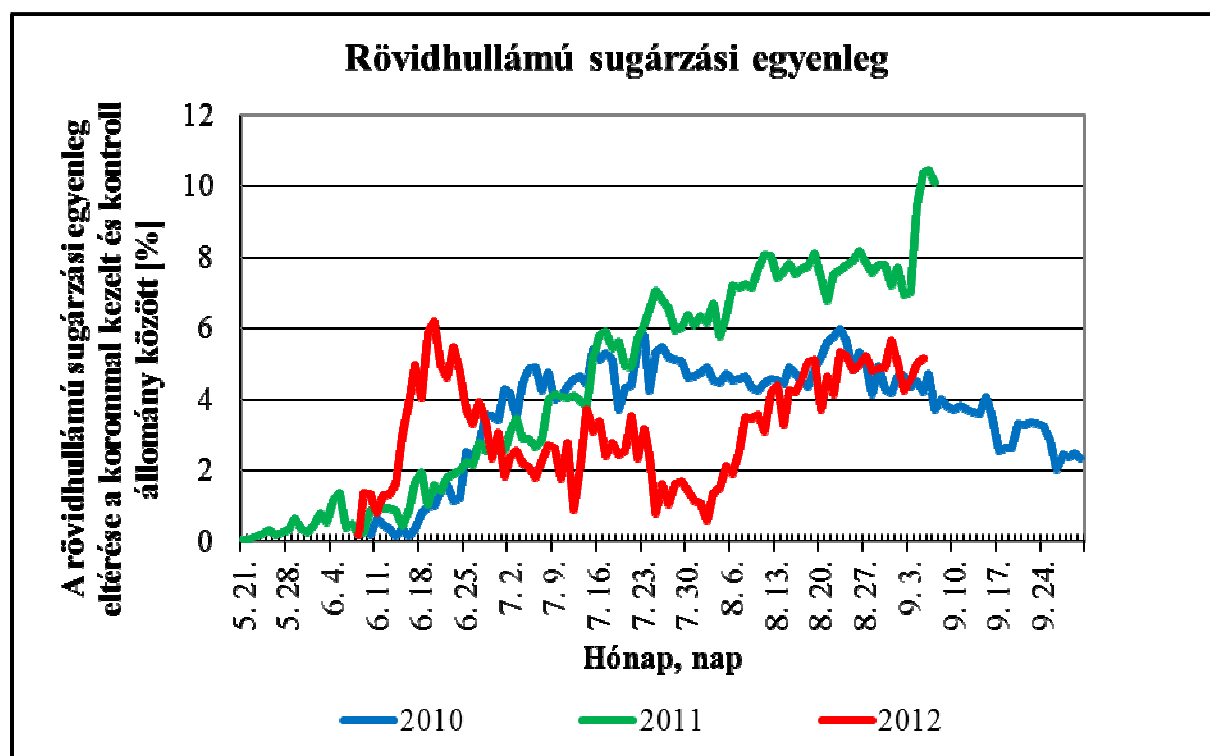
#### 4.4.4. Összegzés

A korommal kezelt kukorica levélterület növekedésének következtében az állomány többet párologtatott, mint a kontroll kukorica. Ezt támasztotta alá a látens hő magasabb értéke, mely 2011-ben és 2012-ben mutatkozott szignifikánsnak. A megnövekedett levélfelület miatt a korommal kezelt állomány zártabbá vált, így kevésbé melegedett fel, ezt mutatta a szenzibilis hő csökkenése. A Bowen-arány szignifikáns csökkenést mutatott 2011-ben és 2012-ben a korommal kezelt kukoricában. 2010-ben nem volt szignifikáns különbség a két kezelés között.

#### 4.4.5. Rövidhullámú sugárzási egyenleg alakulása

A rövidhullámú sugárzási egyenleg szoros összefüggésben van az albedó alakulásával. A korommal kezelt kukorica csökkent albedója nagyobb sugárzás elnyelést eredményezett, melyet jól tükröz a sugárzási egyenleg magasabban futó görbéje (37. ábra). Az évek közötti összehasonlítás alapján a kontroll kezelésekben a rövidhullámú sugárzási egyenleg a következőképpen alakult. 2010-ben volt a legkisebb, 2011-hez képest 24,54%-kal, 2012-höz képest 25,15%-kal volt alacsonyabb a rövidhullámú sugárzási egyenleg. 2011-ben pedig 0,6%-kal volt kisebb, mint 2012-ben. A korommal kezelt parcellákon szintén 2010-ben volt a legalacsonyabb, ekkor 2011-hez képest 24,91%-kal, míg 2012-höz képest 24,5%-kal. 2011-ben pedig 0,4%-kal volt magasabb a rövidhullámú sugárzási egyenleg, mint 2012-ben.

Mindhárom évben szignifikáns eltérést tapasztaltunk a korommal kezelt és a kontroll kukorica rövidhullámú sugárzási egyenlege között. Ennek függvényében 2010-ben a korommal kezelt kukorica rövidhullámú sugárzási egyenlege 3,83%-kal ( $P < 0,000$ ), 2011-ben 4,21%-kal ( $P < 0,000$ ) és 2012-ben pedig 3,16%-kal ( $P < 0,000$ ) volt magasabb a kontroll kukoricához képest.

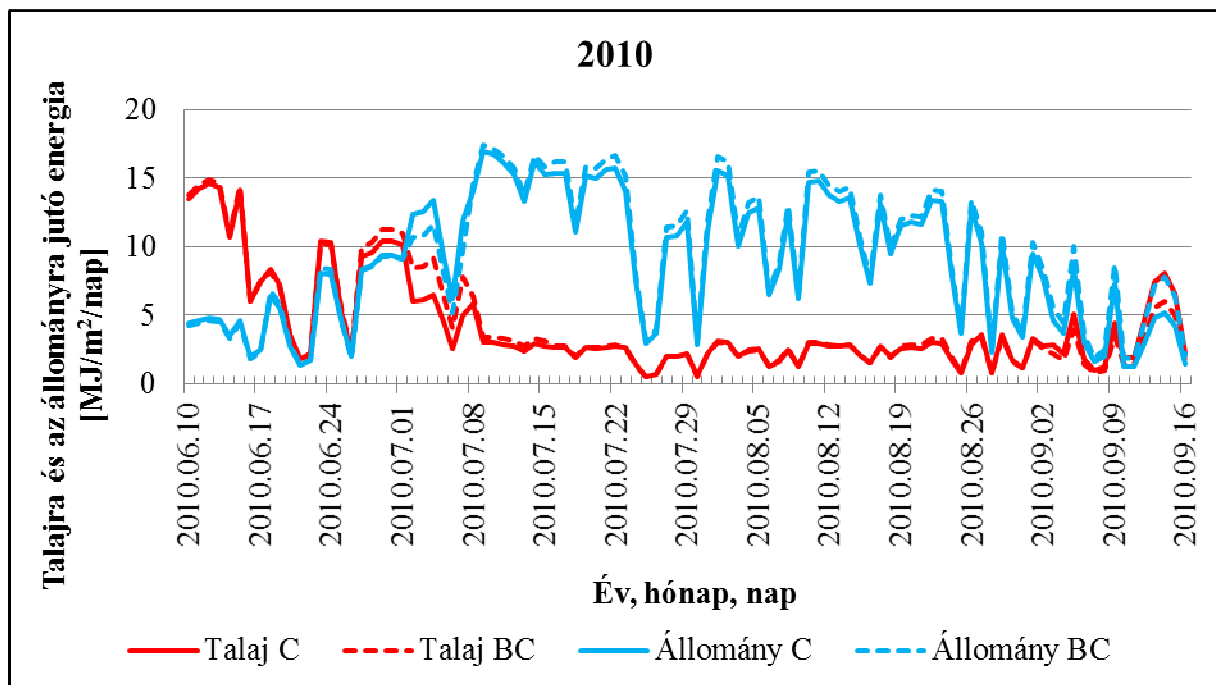


**37. ábra** A korommal kezelt kukorica rövidhullámú sugárzási egyenlegének eltérése a kontroll kukoricához képest 2010 és 2012 között százalékban kifejezve.

A sötétebb színű korommal kezelt kukoricának a nagyobb sugárzás elnyelése miatt a kukoricában többlet energia alakult ki, mely energia egy része a magasabb párolgásra fordítódott.

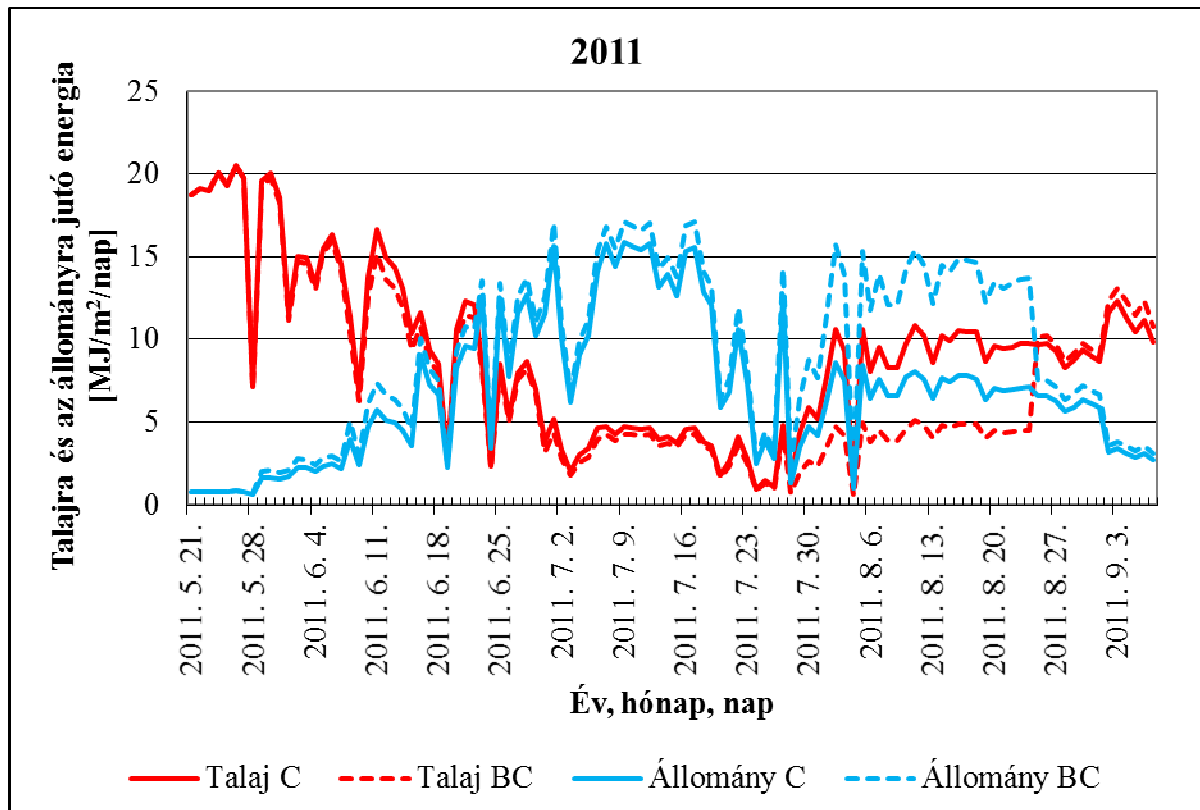
#### 4.4.6. A talajra és az állományra jutó energia vizsgálata

Megvizsgáltuk, hogy a teljes bejövő energiának milyen a megoszlása a talaj és az állomány között. Ebből adódóan 2010-ben (38. ábra) a kontroll állományban a talajra jutó energia ( $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{nap}$ ) 71,93%-kal ( $P < 0,000$ ) kisebb volt, mint az állományra jutó energia. A korommal kezelt állományban pedig a talajra 73,56%-kal ( $P < 0,000$ ) jutott kevesebb energia, mint az állományra. A korom hatását is vizsgáltuk, így a korommal kezelt állomány talajára 2,62%-kal több energia jutott, mint a kontroll kukorica talajára. Az állomány szempontjából pedig a kontroll állományra 4,5%-kal ( $P < 0,000$ ) kevesebb energia jutott, mint a kezelt állományra.



**38. ábra** Az összes bejövő energiának a megoszlása a talaj és az állomány között ( $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{nap}$ ) a kontroll (C) és korommal kezelt (BC) kukorica esetében 2010-ben.

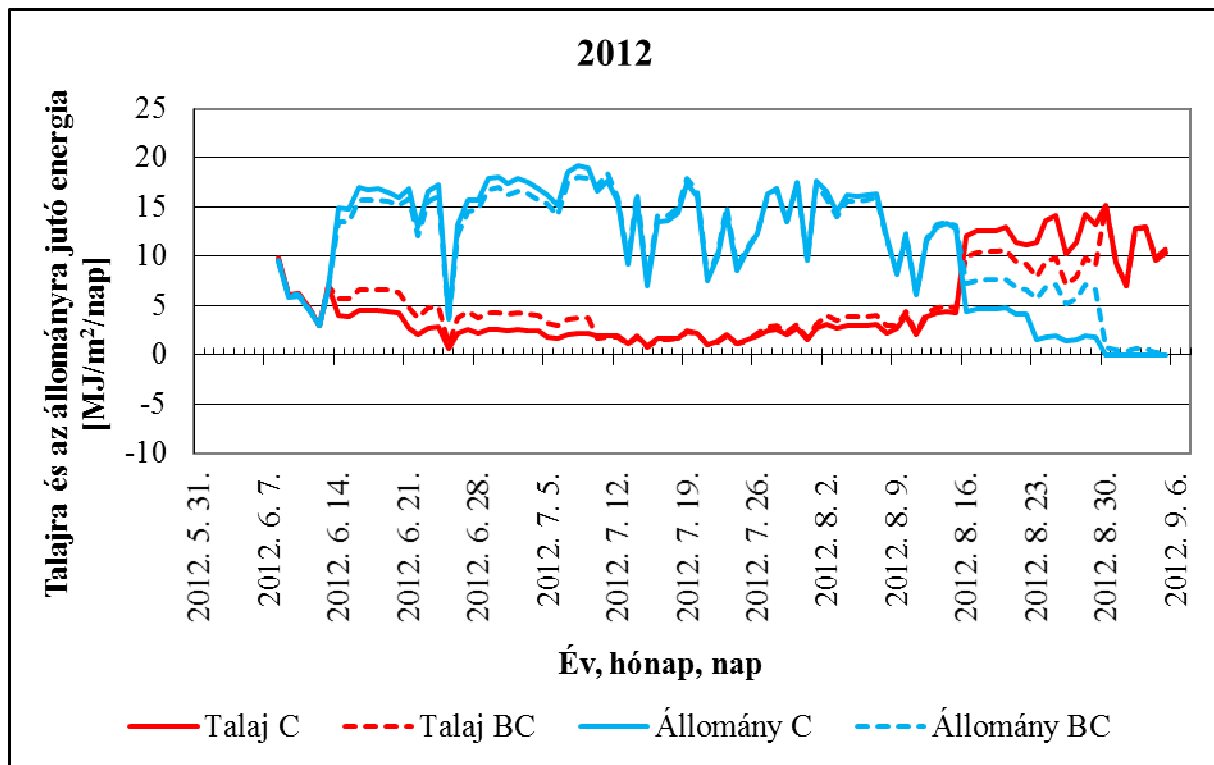
2011-ben kissé másképp alakult a talajra és állományra jutó energia mennyisége (39. ábra). A kontroll állományban a talajra jutó energia 28,22%-kal ( $P<0,004$ ) volt kevesebb, mint az állományra jutó energia és a korommal kezelt parcellán pedig a talajra 13,9%-kal kevesebb energia jutott, mint az állományra. A korom hatását vizsgálva azt kaptuk a talaj esetében, hogy 16,16%-kal ( $P<0,000$ ) volt több a kontroll talajra jutó energia és az állomány szempontjából pedig 25,99%-kal ( $P<0,000$ ) volt kevesebb, mint a korommal kezelt állomány esetében.



**39. ábra** Az összes bejövő energiának a megoszlása a talaj és az állomány között ( $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{nap}$ ) a kontroll (C) és korommal kezelt (BC) kukorica esetében 2011-ben.

2012-ben a 2010-es évhez hasonló eredményeket kaptunk (40. ábra). A kontroll kukorica esetében a talajra jutó energia 75,7%-kal ( $P<0,000$ ), a korommal kezelt kukorica esetében 76,05%-kal ( $P<0,000$ ) volt kevesebb, mint az állományra jutó energia. A korom hatásának szempontjából a talaj esetében pedig 2,88%-kal, az állomány esetében pedig 3,29%-kal ( $P<0,03$ ) volt több a kezelt kukoricára jutó energia a kontrollhoz képest.





**40. ábra** Az összes bejövő energiának a megoszlása a talaj és az állomány között (MJ/m<sup>2</sup>/nap) a kontroll (C) és korommal kezelt (BC) kukorica esetében 2012-ben.

#### 4.4.7. Összegzés

A teljes bejövő energiának a megoszlását vizsgáltuk a két kezelés között mindhárom kutatási évben. Azt tapasztaltuk, hogy a tenyészidőszak elején, mikor még a kukorica növésben volt a talajra több energia jutott, mint az állományra. Az állományzáródás következtében a megoszlás is változott. Az állományra jutott a több energia a talajjal szemben. A tenyészidőszak végén, mikor a teljes leszáradás megtörtént újra a talajra jutott több energia az állománnyal szemben.

## 4.5. Kukorica teljes szárazanyag tartalmának (TDM) vizsgálata

### 4.5.1. Évek közötti összehasonlítás

A mikroklíma alakulásában a teljes biomassza hatása erőteljesebb, mint csak a termésé. Ezért elemeztük a teljes szárazanyag tartalmát. A teljes szárazanyag tekintetében a

három év és két kezelés multianova módszerrel történő összehasonlítása során szignifikáns eltérést tapasztaltunk (3. táblázat). A táblázatból látszik, hogy a teljes szárazanyag tekintetében szignifikáns eltérés alakult ki a három év között és a két kezelés között. Az éveket és a kezeléseket együtt vizsgálva is szignifikáns eltérést tapasztaltunk.

**3. táblázat** A teljes szárazanyag tekintetében az évek (2010, 2011, 2012) és a kezelések (korommal kezelt és kontroll állomány) közötti eltérések.

<b>Hatások vizsgálata</b>					
Függő változó:TDM (kg m <sup>-2</sup> )					
Forrás	III. típusú négyzetek összege	df	Átlagos négyzetes hiba	F	Szignifikancia
Korrigált modell	4,007 <sup>a</sup>	11	,364	11,722	,000
Év	,853	2	,426	13,718	<b>,000</b>
Kezelések	,724	3	,241	7,762	<b>,000</b>
Év * Kezelések	2,592	6	,432	13,900	<b>,000</b>
Hiba	1,305	42	,031		
Összes	190,025	54			
Korrigált, összes	5,312	53			

A következőkben az egyes évek közötti különbségeket is megvizsgáltuk. A teljes szárazanyag (TDM) tekintetében az évek közötti összehasonlításból következik, hogy 2010 és 2011 között csak a kontroll kukorica tekintetében volt jelentős eltérés (4. táblázat) mind az ET-kádak, mind a parcella esetében. Az ET-kádak kontroll kukoricájának TDM-a 2010-ben 52,92% (P<0,004) több volt, mint 2011-ben. 2011 és 2012 között csak az ET-kádak esetében volt jelentős eltérés mind a kontroll, mind a korommal kezelt kukorica esetében (5. táblázat). 2011-ben 67,7%-kal (P<0,000) volt kevesebb az ET-kádban nevelt kontroll kukorica TDM-a, mint 2012-ben és 59,37%-kal (P<0,009) volt kevesebb az ET-kádban nevelt korommal kezelt kukorica TDM-a, mint 2012-ben. Az évek összehasonlításának függvényében a 2010 és 2012

közötti évek esetében a kontroll ET-kádban és a korommal kezelt parcellán volt szignifikáns eltérés (6. táblázat). 2010-ben az ET-kádban nevelt kontroll kukorica TDM-a 16,23%-kal ( $P < 0,006$ ) volt kevesebb, mint 2012-ben. A parcellán tenyésztett korommal kezelt kukorica TDM-a 2010-ben 25,35%-kal ( $P < 0,007$ ) volt több, mint 2012-ben.

Összességében elmondható, hogy a kontroll kukorica esetében az ET-kádakban mindegyik év összehasonlítása során szignifikáns eltérést tapasztaltunk.

**4. táblázat** 2010 és 2011-es évek közötti eltérés a teljes szárazanyag (TDM) tekintetében a 4 kezelés között (ET C: kontroll evapotranszpirométer; ET BC: korommal kezelt evapotranszpirométer; P C: kontroll parcella; P BC: korommal kezelt parcella)

<i>Évek közötti eltérés (2010, 2011)</i>						
	2010	2011	Levene-teszt		Szignifikancia	Hiba eltérés
	TDM ( $\text{kg m}^{-2}$ )		F	Sig.		
ET C	2,06	1,19	1,025	0,350	<b>0,000</b>	0,07931
ET BC	1,94	1,36	5,165	0,063	0,745	0,08811
P C	1,96	2,03	0,046	0,836	<b>0,025</b>	0,04956
P BC	1,93	1,76	0,479	0,508	0,371	0,1710

**5. táblázat** 2011 és 2012-es évek közötti eltérés a teljes szárazanyag (TDM tekintetében a 4 kezelés között (ET C: kontroll evapotranszpirométer; ET BC: korommal kezelt evapotranszpirométer; P C: kontroll parcella; P BC: korommal kezelt parcella)

<i>Évek közötti eltérés (2011, 2012)</i>						
	2011	2012	Levene-teszt		Szignifikancia	Hiba eltérés
	TDM ( $\text{kg m}^{-2}$ )					

			F	Sig.		
ET C	1,19	2,42	1,993	0,208	<b>0,000</b>	0,08846
ET BC	1,36	2,5	2,833	0,143	<b>0,009</b>	0,05023
P C	2,03	1,75	4,784	0,060	0,747	0,11987
P BC	1,76	1,5	0,741	0,414	0,160	0,1681

**6. táblázat** 2010 és 2012-es évek közötti eltérés a teljes szárazanyag (TDM tekintetében a 4 kezelés között (ET C: kontroll evapotranszpirométer; ET BC: korommal kezelt evapotranszpirométer; P C: kontroll parcella; P BC: korommal kezelt parcella)

*Évek közötti eltérés (2010, 2012)*

	2010	2012				
	TDM (kg m <sup>-2</sup> )		Levene-teszt	Szignifikancia	Hiba	
			F	Sig.	eltérés	
ET C	2,06	2,42	0,118	0,742	<b>0,006</b>	0,10621
ET BC	1,94	2,5	1,430	0,227	0,162	0,09784
P C	1,96	1,75	4,186	0,075	0,466	0,12152
P BC	1,93	1,5	0,106	0,754	<b>0,007</b>	0,1195

**4.5.2. A korom és a kiegészítő vízellátás hatása a kukorica teljes szárazanyag tartalmára**

Külön vizsgáltuk a korom, illetve a kiegészítő vízellátás hatását is a teljes szárazanyagra vonatkoztatva.

Elsőnek a korom hatását részletezem mind az ET-kádakban nevelt (7. táblázat) és a parcellán termesztett (8. táblázat) kukorica esetében. A táblázatok jól mutatják, hogy a koromszennyezésnek csak az ET-kádakban volt szignifikáns hatása. 2011-ben 12,49%-kal ( $P < 0,01$ ) volt több, 2012-ben pedig 17,18%-kal ( $P < 0,008$ ) volt több a korommal kezelt kukorica TDM-a, mint a kontroll kukoricáé. A parcellán nem mutatkozott jelentős különbség a kormos és a kontroll kukorica TDM-a között.

**7. táblázat** Korom (BC) hatás a kukorica teljes szárazanyagára (TDM) 2010 és 2012 között az ET kádakban (C: kontroll)

<i>Korom hatása az ET kádakban nevelt kukorica teljes szárazanyag tartalmára</i>						
	ET C	ET BC	Levene-teszt		Szignifikancia	Hiba eltérés
			F	Sig.		
<b>2010</b>						
TDM [kg m <sup>-2</sup> ]	2,06	1,94	0,257	0,630	0,322	0,11081
<b>2011</b>						
TDM [kg m <sup>-2</sup> ]	1,19	1,36	0,956	0,366	<b>0,01</b>	0,0042107
<b>2012</b>						
TDM [kg m <sup>-2</sup> ]	2,42	2,5	1,052	0,345	<b>0,008</b>	0,0925969

**8. táblázat** Koromszennyezés (BC) hatása a parcellán tenyésztett kukorica teljes szárazanyag tartalmára (TDM) 2010 és 2012 között (C:kontroll).

<i>Korom hatása a parcellán nevelt kukorica teljes szárazanyag tartalmára</i>						
	P C	P BC	Levene-teszt		Szignifikancia	Hiba eltérés
			F	Sig.		
<b>2010</b>						
TDM [kg m <sup>-2</sup> ]	1,96	1,93	4,586	0,065	0,446	0,09509
<b>2011</b>						
TDM [kg m <sup>-2</sup> ]	2,03	1,76	3,133	0,115	0,755	0,0150472
<b>2012</b>						
TDM [kg m <sup>-2</sup> ]	1,75	1,5	0,598	0,462	0,110	0,0141417

Száraz-meleg évben a korom pozitív hatású volt, ha a növény kiegészítő vízellátásban részesült. A koromszennyezés hatása kiegészítő vízellátással jó irányba tolható. Viszont ha nincs kiegészítő vízellátás, akkor a korom negatív hatásúvá válhat. Nedves évben, mint a 2010-es vizsgálati év, a koromnak nem mutatkozik statisztikailag igazolható hatása.

A 9. és 10. táblázatok a kiegészítő vízellátás hatásairól adnak felvilágosítást. Jól látszik, hogy a kontroll kukorica esetében 2010-ben és 2012-ben szignifikáns eltérés mutatkozott a kiegészítő vízellátás hatására. A korommal kezelt kukorica esetében csak 2012-ben mutatkozott szignifikánsnak a kiegészítő vízellátás. A 2011-es évben a vízellátás hatására nem lett szignifikáns eltérés a kukorica TDM-ban sem a kontroll, sem a korommal kezelt kukorica esetében. Ennek lehetséges okát mai napig nem találtuk. A másik két évben (2010 és 2012) az ET-kádban nevelt kukorica TDM-a volt magasabb mindkét kezelésben. A koromszennyezett kukorica TDM-ának tekintetében csak 2012-ben mutatkozott szignifikánsnak a kiegészítő vízellátás hatása. Ebben az évben az ET-kád kormos

kukoricájának TDM-a 50,68%-kal ( $P < 0,001$ ) volt nagyobb, mint a parcella korommal kezelt kukorica TDM-a.

**9. táblázat** A kiegészítő vízellátás hatása a kontroll (C) állomány teljes szárazanyag tartalmára (TDM) 2010 és 2012 között (ET: evapotranszpirométer; P: parcella).

<i>Kiegészítő vízellátás hatása a kontroll állomány teljes szárazanyag tartalmára</i>						
	ET C	P C	Levene-teszt		Szignifikancia	Hiba eltérés
			F	Sig.		
<b>2010</b>						
TDM [kg m <sup>-2</sup> ]	2,06	1,96	0,664	0,442	<b>0,047</b>	0,07478
<b>2011</b>						
TDM [kg m <sup>-2</sup> ]	1,32	1,90	0,257	0,540	0,051	0,11082
<b>2012</b>						
TDM [kg m <sup>-2</sup> ]	2,42	1,75	0,977	0,356	<b>0,001</b>	0,0148641

**10. táblázat** A kiegészítő vízellátás hatása a korommal kezelt állomány (BC) teljes szárazanyag tartalmára (TDM) 2010 és 2012 között (ET: evapotranszpirométer; P: parcella).

<i>Kiegészítő vízellátás hatása a korommal kezelt állomány teljes szárazanyag tartalmára</i>						
	ET BC	P BC	Levene-teszt		Szignifikancia	Hiba eltérés
			F	Sig.		
<b>2010</b>						
TDM [kg m <sup>-2</sup> ]	1,94	1,93	0,236	0,642	0,917	0,12452
<b>2011</b>						
TDM [kg m <sup>-2</sup> ]	1,36	1,76	3,505	0,103	0,408	0,0167516

---

**2012**

---

---

TDM [kg m <sup>-2</sup> ]	2,5	1,5	1,615	0,244	<b>0,001</b>	0,0101157
------------------------------	-----	-----	-------	-------	--------------	-----------

---

A kukorica teljes szárazanyagának vizsgálata során vizsgáltuk a torz csöveket is a kezelésekben (11. táblázat). A parcellán a kontroll kezelésben egyik évben sem találtunk torz csöveket, ezzel ellentétben a korommal szennyezett parcellán mindhárom évben találtunk torz csöveket. Az ET kádakban mind a kontroll, mind a korommal szennyezett kezelés esetében csak 2011-ben találtunk torz csöveket. E torz csövek élettani torzulások, nem volt a kezelésekben fertőzés. A torz csövek kialakulásához a korom adszorpciós tulajdonsága is hozzájárulhatott, mivel különböző anyagokat képes a felületén megkötni, melyek bejuthatnak a korom közvetítése során a növényekbe, ahogy a lombtrágyázásnál megfigyelhettük, így kifejtve káros hatásukat. A torz csövek kialakulása vagy közvetlenül, vagy közvetetten a koromnak tudható be, mely jelenség oki feltárására jelen tanulmány nem terjedt ki.

**11. táblázat** A parcellán és az ET kádakban talált torz csövek átlaga 2010 és 2012 között.

	<i>Parcella</i>			<i>ET kád</i>		
	<i>2010</i>	<i>2011</i>	<i>2012</i>	<i>2010</i>	<i>2011</i>	<i>2012</i>
<b>Korom</b>	2,2	3,2	8,2	0	5	0
<b>Kontroll</b>	0	0	0	0	1,5	0

#### 4.5.3. Szem szárazanyag vizsgálat

A kutatás során egyik vizsgált évben sem volt szignifikáns eltérés a szem szárazanyagban sem a parcellán, sem az ET-kádakban nevelt korommal kezelt és kontroll kukorica között (12. táblázat).



**12. táblázat** A korommal kezelt kukorica szem szárazanyagának eltérése a kontroll kukoricához képest százalékban kifejezve a vizsgált három évben (2010, 2011, 2012) a parcellán és az evapotranszpirométerben (ET-kád). A P érték nem érte el a kritikus szintet.

	<b>Parcella (%)</b>	<b>ET-kád (%)</b>
2010	-1,36%	+4,96%
2011	-17,06%	+7,64%
2012	-12,85%	+9,04%

A 12. táblázatból jól látszik, hogy a parcellákon rendre kisebb volt a korommal kezelt kukorica szem szárazanyaga, az ET-kádakban pedig nagyobb. Itt is megmutatkozott a kiegészítő vízellátás pozitív hatása a koromszennyezésű növényeknél. Szignifikáns eltérés ugyan nem volt, de az értékek tendenciái mindhárom évben azonosak.

#### **4.6. A különböző kezelések vízhasznosítási együtthatójának vizsgálata**

A vízhasznosulási értékek fejezik ki, hogy mennyi vizet használ fel a növény 1 kg szárazanyag felépítéséhez. Itt említjük meg, hogy esetünkben a talajnedvesség készlet változását nem vettük tekintetbe a mutató meghatározásakor, csak a csapadékbevétellel számoltuk a WUE értékét. A 13. táblázatból látszik, hogy a vízhasznosulási együttható tekintetében szignifikáns eltérés alakult ki a három év között és a két kezelés között. Az éveket és a kezeléseket együtt vizsgálva is szignifikáns eltérést tapasztaltunk.

**13. táblázat** A vízhasznosítási együttható (WUE) tekintetében az évek (2010, 2011, 2012) és a kezelések (korommal kezelt és kontroll állomány) közötti eltérések.

Hatások vizsgálata					
Függő változó:WUE (1 kg-1)					
Forrás	III. típusú négyzetek összege	df	Átlagos négyzetes hiba	F	Szignifikancia
Korrigált modell	222960,838a	11	20269,167	39,090	,000
Év	26014,410	2	13007,205	25,085	,000
Kezelések	18531,861	3	6177,287	11,913	,000
Év * Kezelések	165281,798	6	27546,966	53,126	,000
Hiba	21777,910	42	518,522		
Összes	3103633,712	54			
Korrigált, összes	244738,748	53			

Azt tapasztaltuk évjárattól függetlenül, hogy a korommal kezelt kukorica vízhasználati értékei egy eset kivételével (2011-ben az ET kontroll kukorica vízhasznosulása magasabb volt, mint az ET korommal szennyezett kukoricáé) magasabbak voltak, mint a kontroll állományé (14. táblázat), de ez csak tendencia jelleggel volt megfigyelhető. 2010-ben az ET-kádokban található korommal szennyezett kukorica 7,5%-kal használt több vizet, mint a kontroll kádok esetében. Ez az érték a parcellák esetében kisebb volt, 1,54%. 2011-ben a korommal szennyezett kukorica a parcellán 14,25%-kal használt fel több vizet, mint a parcella kontroll kukorica. 2012-ben az ET kádban található korommal szennyezett kukorica 1,08%-kal ( $P < 0,027$ ) használt több vizet, mint az ET kontroll kukorica. A parcellán 2012-ben 15,39%-kal használt több vizet a korommal kezelt kukorica, mint a kontroll kukorica.

A korom az ET kádokban szignifikánsan csak 2011-ben és 2012-ben változtatta meg a kukorica vízhasznosulását. A parcellán viszont csak 2010-ben volt jelentős az eltérés.

**14. táblázat** Korom (BC) hatása az ET kádokban és a parcellán (P) nevelt kukorica vízhasznosulására (WUE) 2010 és 2012 között (C: kontroll).

<i>Korom hatása az ET kádokban</i>						
	ET C	ET BC	Levene-teszt		Szignifikancia	Hiba eltérés
			F	Sig.		
<b>2010</b>						
WUE [1 kg <sup>-1</sup> ]	195,97	211,39	0,585	0,473	0,255	0,0121355
<b>2011</b>						
WUE [1 kg <sup>-1</sup> ]	461,37	331,47	2,256	0,184	<b>0,001</b>	0,9323229
<b>2012</b>						
WUE [1 kg <sup>-1</sup> ]	203,47	205,68	0,194	0,675	<b>0,027</b>	0,8214551
<i>Korom hatása a parcellán.</i>						
	P C	P BC	Levene-teszt		Szignifikancia	Hiba eltérés
			F	Sig.		
<b>2010</b>						
WUE [1 kg <sup>-1</sup> ]	366,83	372,58	6,928	0,030	<b>0,002</b>	0,0169705
<b>2011</b>						
WUE [1 kg <sup>-1</sup> ]	140,03	151,13	4,047	0,079	0,795	0,0115047
<b>2012</b>						
WUE [1 kg <sup>-1</sup> ]	194,86	227,33	0,003	0,961	0,115	0,0183994

A 15. táblázat a kiegészítő vízellátás hatását vizsgálta a kukorica vízhasznosulásában. 2012-ben sem a kontroll, sem a korommal szennyezett kukorica esetében nem mutatkozott

szignifikánsnak a kiegészítő vízellátás hatása. Viszont 2010-ben és 2011-ben igen. 2010-ben a kiegészítő vízellátásban részesült kontroll kukorica vízhasznosulása 60,71%-kal ( $P < 0,000$ ) volt kisebb, mint a parcella kontroll kukoricáé. 2011-ben pedig az ET kád kontroll kukoricájának vízhasznosulása volt nagyobb 114,32%-kal ( $P < 0,000$ ), mint a parcella kontroll kukoricáé. A korommal kezelt kukorica esetében 2010-ben a parcellán volt nagyobb a vízhasznosulás 55,19%-kal ( $P < 0,000$ ), mint az ET kád kormos kezelésé. 2011-ben is szignifikáns volt az eltérés, 74,73%-kal ( $P < 0,012$ ) volt nagyobb az ET kádban nevelt korommal szennyezett kukorica vízhasznosulása, mint a parcellán kezelté.

**15. táblázat** Kiegészítő vízellátás hatása az ET kádakban és a parcellán (P) nevelt kukorica vízhasznosulására (WUE) 2010 és 2012 között (C: kontroll; BC: korommal kezelt kukorica).

<i>Kiegészítő vízellátás hatása a kontroll állományban</i>						
	ET C	P C	Levene-teszt		Szignifikancia	Hiba eltérés
			F	Sig.		
<b>2010</b>						
WUE [ $1 \text{ kg}^{-1}$ ]	195,97	366,83	0,016	0,903	<b>0,000</b>	0,8687717
<b>2011</b>						
WUE [ $1 \text{ kg}^{-1}$ ]	480,75	131,03	1,685	0,235	<b>0,000</b>	0,8605270
<b>2012</b>						
WUE [ $1 \text{ kg}^{-1}$ ]	203,47	194,86	1,371	0,280	0,532	0,0165672
<i>Kiegészítő vízellátás hatása a korommal kezelt állományban</i>						
	ET BC	P BC	Levene-teszt		Szignifikancia	Hiba eltérés
			F	Sig.		
<b>2010</b>						
WUE [ $1 \text{ kg}^{-1}$ ]	211,39	372,58	2,469	0,160	<b>0,000</b>	0,0202093

<b>2011</b>						
WUE [1 kg <sup>-1</sup> ]	331,47	151,13	3,820	0,092	<b>0,012</b>	0,0188345
<b>2012</b>						
WUE [1 kg <sup>-1</sup> ]	205,68	227,33	3,040	0,125	0,852	0,0145892

A vízhasznosítási együttható értékei minél kisebbek, annál hatékonyabban használja fel a kukorica a rendelkezésre álló vizet egy kg szárazanyag előállításához. Tehát ahol magasabb értékeket kaptunk, ott a növények rosszabbul gazdálkodtak a rendelkezésre álló vízzel.

## 5. KÖVETKEZTETÉS

A globális felmelegedés és a klímaváltozás hatására hazánk időjárási viszonyai évről évre változnak. Egyre többször szembesülünk szélsőséges időjárással, melynek hatására a szabadföldön termesztett gabonanövényeink egyre több stressznek vannak kitéve. A klímaváltozás mellett a környezetszennyezés is hatással van a növényekre. Esetünkben a gépjárműforgalom megnövekedése miatt az utak mentén található növények a gépjárművek működése során kibocsátott szennyezésnek is ki vannak téve. A kipufogógázban található részecskék közül a korom hatását vizsgáltuk a disszertáció kutatási témája során.

Kutatásunkat Keszthelyen végeztük szabadföldi körülmények között egymást követő 3 évben (2010-2012), mely során kukorica növényt szennyeztünk (nem a talajon keresztül) vegytiszta korommal és vizsgáltuk a növény sugárzásháztartási-, vízháztartási- és növény növekedési mutatóinak esetleges változásait. A területen két vízkezelés mellett végeztük a vizsgálatokat (öntözött és öntözetlen).

### *Időjárási viszonyok alakulása a vizsgált 3 év során és hatásai a kukorica növekedésére*

2010 egy igen csapadékos és hűvös év volt a másik két vizsgált évhez képest. Ebben az évben a csapadékbevitel jóval meghaladta a sokéves átlagot és a tenyészidőszaki átlaghőmérséklet is 0,3%-kal alacsonyabb volt, mint a klímanormál. Ennek a csapadékos időjárásnak köszönhetően a korommal kezelt állomány és a kontroll állomány nem tért el egymástól nagymértékben, ami a növények növekedését illette. A korommal szennyezett és a kontroll kukorica zöldfelülete szignifikánsan nem tértek el egymástól, viszont a koromnak a zöldfelület növelő hatása ebben az évben is igazolható volt, csak kisebb mértékben, mint a következő száraz évben. A növények magassága sem mutatott lényeges különbséget. A következő évben (2011) az időjárásnak köszönhetően a kormos és a kontroll kezelés már szignifikáns eltéréseket mutatott. Ebben az évben a csapadékbevitel 56%-kal kevesebb volt, mint a klímanormál, és a tenyészidőszak átlaghőmérséklet 1,2°C-kal meghaladta a sokéves átlagot. Ennek köszönhetően a korom hatása jobban megmutatkozott a növény növekedésében. A korom kezelés a kukorica levélterületét mind az öntözött, mind a nem öntözött kezelésben szignifikánsan növelte. A kontroll és korommal kezelt növények növekedésében jelentős eltérés nem mutatkozott. 2012-ben 2010-hez hasonlóan szignifikáns

eltérés nem mutatkozott a koromszennyezés hatására. Ugyan növekedés ebben az évben is mutatkozott a kontroll növényekhez képest, de nem tértek el jelentősen. Ebben az évben a nagy augusztusi meleg hatására a kezelések gyakorlatilag kiégtek, így egy hónappal megrövidült a tenyészidőszak. Ebben a hónapban extrém kevés csapadékbevitel volt (5 mm). A koromszennyezés a kukorica zöldfelületét mindhárom évben tendencia jelleggel növelte, 2011-ben szignifikánsan.

Összességében elmondható, hogy a koromszennyezésnek egy melegebb és kevesebb csapadék bevitelű évben jobban mutatkozott a hatása, mint egy csapadékosabb évben. Ez viszont kérdéseket vet fel, hiszen az éghajlatváltozás hatásaként hőségnapokkal, melegebb nyarakkal, aszályokkal kell számolni. Erre a folyamatos változásra a kutatóknak és a gazdálkodóknak megoldást kell találniuk. Ennek egyik lehetősége egy szárazságtűrőbb hibrid alkalmazása lesz a jövőben.

#### *Párolgás alakulása a koromszennyezés hatására*

Az evapotranszpirációs pentád összegeket vizsgálva megállapítottuk, hogy mindhárom vizsgált évben a legnagyobb pentád összegeket júliusban mértük. 30 mm-t 2010-ben és 2011-ben a korommal kezelt állományban és 2012-ben nagyon magas 42 mm-t. A napi maximális párolgás mindegyik évben július hónapra esett. A vizsgált 3 évben a tenyészidőszak alatt a július volt az a hónap mely során sem a hőmérséklet, sem a csapadékbevitel nem különbözött a sokéves átlagtól.

A kumulatív párolgás összegek mindhárom évben meghaladták a 400 mm-t, sőt 2012-ben a korommal kezelt állományban az 500 mm-t is. A két kezelés közti eltérés mindegyik vizsgált évben szignifikáns volt, mely során többet párologtatott a korommal kezelt kukorica. Ez megmutatkozott a párologtatás intenzitásában is, mindig intenzívebben párologtatott a korommal szennyezett állomány, viszont szignifikánsnak nem minősült, csak 2010-ben, a másik két évben nem volt jelentős, de tendencia jelleggel nagyobb volt, mint a kontroll állományé. A párolgás nagyban összefügg a kukorica LAI-jával, így ahol kisebb mértékű volt az összegzett párolgások különbsége, ott a LAI-ban sem volt jelentős változás, míg 2011-es szignifikáns levélfelület növekedés miatt a párolgás is magasabb volt.

#### *Korom hatása a kukorica néhány mikroklíma elemére*

A két kezelés kukorica állományának mikroklíma elemzése során kiderült, hogy a korom szennyezésnek az egész tenyészidőszakot figyelembe véve szignifikáns hatása volt

mind a hőmérsékletre, mind a relatív nedvességtartalomra nézve. 2010-ben a korommal szennyezett kukorica állomány hőmérséklete és relatív nedvességtartalma kevesebb volt, mint a kontroll kukoricáé, de alig egy-egy százalék különbség volt, viszonylag egyforma adatsort kaptunk az egész tenyészidőszakot figyelembe véve. 2011-ben és 2012-ben amikor az időjárás is melegebb volt, mint az előző év, a különbségek is jobban mutatkoztak a két kezelés között. Szignifikáns emelkedést tapasztaltunk mind a két mikroklíma paraméter esetében. Az éjjeli és kora reggeli órákban a korommal szennyezett kukorica melegebb volt, mint a kontroll kukorica. Napközben viszont a kontroll kukorica volt melegebb, mint a koromszennyezett kukorica. Ezek az értékek napi átlagban kiegyensúlyozottak voltak.

A relatív nedvességtartalom tekintetében a korommal szennyezett kukorica tiszta és borult égbolt esetében magasabb nedvességtartalommal rendelkezett, mint a kontroll állomány. A kezelt állomány nedvességtartalma nagyobb volt, viszont a hőmérséklete egy melegebb évben kisebb volt. Ez összefüggésben állhat a megnövekedett levélfelülettel, hiszen a zártabb kormos állomány kevésbé melegedett fel, mint a kontroll állomány. A korom tendencia jelleggel mindhárom évben növelte a zöldfelületét a kukoricának, és ezáltal a növénynek még több energiára volt szüksége. Ennek a többlet energiának egy része a párolgásra fordítódott, mely összefüggésben állhat a magasabb relatív nedvességtartalom értékekkel. Egy csapadékosabb, hűvösebb évben a különbségek minimálisak voltak, így az öntözés csökkentheti a növényekben kialakult stresszt az időjárás változás miatt.

#### *Sugárzási jellemzők alakulása a koromszennyezés hatására.*

A sugárzási jellemzők közül az albedó volt, amely a legnagyobb állandóságot mutatta mindhárom évben. E sugárzásháztartási mutató a koromszennyezett kukorica esetében csökkent a kontroll kukoricához képest. Ezek a csökkenések szignifikánsak voltak a vizsgált években. Minél melegebb volt, a csökkenés annál jobban mutatkozott. Viszont a július hónap kivételt képezett, mivel ebben a hónapban jobban közelítettek egymáshoz a kormos és kontroll kukorica értékei. Ebben a hónapban volt mindhárom évben a legkisebb eltérés mind a csapadékbevitel, mind a havi átlagos hőmérséklet tekintetében a sokéves átlaghoz képest. Ez jól megmutatkozott az albedó értékeiben. Amikor melegebb volt és kevesebb csapadék, akkor a két érték jobban eltért egymástól. A korom hatása az albedó vizsgálata során volt a legstabilabb.

A rövidhullámú sugárzási egyenleg szoros összefüggésben volt az albedó alakulásával. A korommal kezelt kukorica sötétebb színe miatt több energiaelnyelést eredményezett, mely



során a nettó sugárzási egyenleg magasabb lett a kontroll kukoricához képest. Ez a növekedés mindhárom évben szignifikánsnak bizonyult. A nagyobb sugárzás elnyelési kényszer miatt a kukoricában többlet energia alakult ki, mely energia egy része a magasabb párolgásra fordítódott.

A következő energiaforgalmi mutatók a párolgásról és az állományban maradt energiáról adtak felvilágosítást. A látens és a szenzibilis hő alakulása nagy összefüggésben állt a LAI-el. 2010-ben szignifikáns eltérést nem tapasztaltunk a két kezelés között egyik paraméter tekintetében sem. De 2011-ben a korommal szennyezett kukorica drasztikusan megnövekedett zöldfelülete miatt a növények többlet párologtattak. Ez mutatkozott meg a szignifikánsan megnövekedett látens hőben is. Viszont a zártabbá vált állomány kevésbé melegedett fel, ezt támasztotta alá a csökkent szenzibilis hő is. 2012-ben is szignifikáns eltéréseket tapasztaltunk, de nem olyan nagymértékben, mint az előző évben. A két paraméter változása adta a Bowen-arány megváltozását. Jelentős eltérés csak a két melegebb évben mutatkozott a két kezelés között.

Az állományra jutó energiát vizsgálva azt kaptuk, hogy a korommal kezelt állomány több energiát nyelt el. Ez támasztja alá a sötétebb állomány megnövekedett energiaigényét. A talajra jutó energia is több volt a korommal kezelt állományban, mint a kontroll parcellán. Viszont 2011-ben a kontroll állomány aljára jutott több energia. A két kezelés közti különbség megint 2011-ben mutatkozott a legnagyobb. A másik két évben is szignifikáns volt az eltérés, de nem olyan nagymértékű, mint ebben az évben.

*A kukorica szem és teljes szárazanyagának (TDM) vizsgálata koromszennyezés hatására.*

A koromszennyezésnek a szem szárazanyagban nem mutatkozott szignifikáns hatása egyik vizsgált évben sem. A kukorica TDM-ban a koromszennyezésnek csak az ET-kádakban volt szignifikáns hatása mindhárom évben. A parcellán nem mutatkozott jelentős különbség a kormos és a kontroll kukorica TDM-a között. A korom a kukorica teljes szárazanyagát jelentősen nem befolyásolta egyik évben sem. Voltak szignifikáns eltérések, de hosszú távú következtetést nem lehet belőlük levonni. A torz csöveket is megnéztük mindhárom vizsgált évben. A parcellán a kontroll kezelésben egyik évben sem találtunk torz csöveket, ezzel ellentétben a korommal szennyezett parcellán mindhárom évben találtunk torz csöveket. Az ET-kádakban mind a kontroll, mind a korommal szennyezett kezelés esetében csak 2011-ben találtunk torz csöveket.

*Korom hatása a vízhasznosítási együtthatóra (WUE).*

A vízhasznosulási értékek fejezik ki, hogy mennyi vizet használ fel a növény 1 kg szárazanyag felépítéséhez. Azt tapasztaltuk évről-évre függetlenül, hogy a korommal kezelt kukorica vízhasználati értékei egy eset kivételével (2011-ben az ET kontroll kukorica vízhasznosulása magasabb volt, mint az ET korommal szennyezett kukoricáé) magasabbak voltak, mint a kontroll állományé. A korom az ET-kádakban szignifikánsan csak 2011-ben és 2012-ben változtatta meg a kukorica vízhasznosulását. A parcellán viszont csak 2010-ben volt jelentős az eltérés. A vízhasznosítási együttható értékei minél kisebbek, annál hatékonyabban használja fel a kukorica a rendelkezésére álló vizet egy kg szárazanyag előállításához. Így ahol magasabb értékeket kaptunk, ott a növények rosszabbul gazdálkodtak a rendelkezésre álló vízzel.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A növény-környezet kapcsolat mind alaposabb megismerése a gazdálkodó ember számára különösen fontos, mivel növényeink számtalan olyan terhelésnek vannak kitéve, melyek fejlődésüket, produkciójukat korlátozzák (Löke, 2004). A mezőgazdaságban dolgozó emberek folyamatos harcot vívnak az éghajlatváltozás és a környezetszennyezés okozta káros hatásokkal. A disszertáció legfontosabb célja a gazdálkodók számára információforrás nyújtása volt. A különböző időjárású évek során sikerült összehasonlítanunk egy nedvesebb és szárazabb évet. Természetes, hogy időjárásunk inkább a szárazabb éghajlathoz fog közelíteni a jövőben, így a melegebb időjárás miatti kedvezőtlen hatások jobban érvényesülnek.

Az értekezésben kukorica növényt vizsgáltunk szabadföldi körülmények között. A gépjárműforgalom szennyezésének szimulálására vegytiszta kormot használtunk. Ennek következtében a kísérlet ismételtősége adott volt egymást követő három évben (2010-2012). Értelemszerűen bármi káros hatás érte a kukoricát a koromnak köszönhetően, az egy tényleges kipufogógáz esetében még markánsabban jelentkezne a sok egyéb káros szennyezőanyag miatt (pl., nehézfémek).

A szabadföldi kutatás során két különböző vízellátás mellett vizsgáltuk a korom hatásait. Evapotranszpirométerekben (ET kád) szimuláltuk az öntözés hatását, így képet kaphattunk az öntözés pozitív hatásáról egy szárazabb évben a parcellával szemben, ahol az adott évben leeső csapadékmennyiség volt a vízforrása a kukoricának. Két kezelés volt összehasonlítva, korommal szennyezett és kontroll kukorica.

A vizsgálati területen automata klímaállomás működik, melynek köszönhetően a meteorológiai adatok biztosítva voltak. Az időjárás tekintetében 2010 egy hűvösebb, csapadékosabb év volt, míg 2011 és 2012 inkább melegebb, szárazabb.

A kukorica növények alapvető növekedési mutatóit is vizsgáltuk. A koromnak a növények magasságára szignifikáns hatása nem mutatkozott, viszont a kukorica zöldfelülete a kezelés hatására növekedett. Ez a növekedés csak 2011-ben mutatkozott szignifikánsnak, de tendencia jelleggel mindhárom évben a korom megnövelte a kukorica levélterület-indexét. A növények teljes szárazanyagára és termésre a korom jelentősen nem hatott.

A parcellákon kihelyezett piranométerek segítségével mértük a kukorica albedóját. A mért paraméterek között ez az érték mutatta a legnagyobb állandóságot mindhárom évben a szennyezés hatására. A korom okozta sötétebb állomány több sugárzást nyelt el, így csökkentve az albedót, amely eltérés szignifikáns volt mindegyik évben. A sugárzásháztartás további elemeit számítás révén kaptuk meg. Megállapítottuk, hogy a korommal kezelt sötétebb állomány több energia elnyelést eredményezett, mely többlet energia egy része a párolgásra fordítódott. A látens hő növekedése ezt bizonyította. A szenzibilis hő csökkenése, viszont azt támasztotta alá, hogy a megnövekedett zöldfelület hatására a kormos állomány légtere nem melegedett fel olyan mértékben, mint a kontroll állomány.

Az előbbieken említett párolgás növekedés is állandó volt mindhárom évben. Az ET kádak segítségével mértük a korommal kezelt és a kontroll kukorica párolgását. A korommal kezelt kukorica kumulatív párolgása szignifikánsan nagyobb volt, mint a kontroll kukoricáé mindhárom évben. A párolgás intenzitása is magasabb volt, de csak tendencia jelleggel, statisztikailag nem volt jelentős. Az evapotranszpirációs pentád összegek is magasabbak voltak a szennyezett kezelésben. A tenyészidőszak elején és végén alacsonyabbak voltak, amikor a zöldfelület és a besugárzás is alacsony volt. A legnagyobb párolgást mindegyik évben júliusban mértük, amikor sem a hőmérséklet, sem a csapadékbevitel nem különbözött olyan mértékben a sokéves átlagtól. Ez pozitívan hathatott a növényekre, hiszen az egyik legérzékenyebb növekedési szakaszuk (címerhányás) is erre a hónapra esett.

A két kezelésben kihelyezett műszerek segítségével képet kaphattunk az állomány mikroklíma tulajdonságairól is. Két paramétert vizsgálva megállapítottuk, hogy a korommal kezelt állomány egész tenyészidőszakot figyelembe véve melegebb volt, mint a kontroll állomány. Viszont napi adatokat vizsgálva kitűnik, hogy a koromnak leginkább késő este és éjjel volt melegítő hatása. Nappal a kontroll állomány volt melegebb. De az adatsort egészben vizsgálva ezen értékek kiegyenlítődték. Ugyan a két kezelés közti különbség nem volt százalékosan nagy, de így is szignifikáns az eltérés a két kezelés között. A korom tendencia jelleggel mindhárom évben növelte a zöldfelületét a kukoricának, és ez által a növénynek még több energiára volt szüksége. Ennek a többlet energiának egy része a párolgásra fordítódott, mely összefüggésben állhat a magasabb relatív páratartalom értékekkel. Egy csapadékosabb, hűvösebb évben a különbségek minimálisak voltak.

Vizsgálataink után kijelenthetjük, hogy a legjobb módszer a szennyezőanyagok káros hatásainak megelőzésére az öntözési technológiák alkalmazása. Viszont nem minden gazda

teheti meg e drága rendszerek kiépítését, így másik megoldást kell keresniük. A gépjárműforgalom miatti légköri eredetű káros hatások ellen is jó lehetőség az öntözés kialakítása. Még egy csapadékosabb évben is, mint 2010, pozitív hatásai voltak a kiegészítő vízellátásnak.

## 7. TÉZISPONTOK

1. A koromszennyezés a kukorica albedóját mindhárom évben szignifikáns csökkentette. Kutatásunkkal a növény levelein megtapadt korom albedó csökkentő hatását bizonyítottuk. Ez a csökkenés a növény teljes sugárzás háztartását befolyásolta. A csökkent albedó miatti nagyobb sugárzás elnyelés a párolgásban szignifikánsan megmutatkozott. A korommal szennyezett kukorica kumulatív párolgás összege mindhárom vizsgált évben szignifikánsan magasabb volt, mint a kontroll kukoircáé.
2. A korommal kezelt kukorica állományi átlaghőmérséklete mindhárom évben szignifikáns eltérést mutatott a kontroll kukorica állományhőmérsékletéhez képest. A korom melegítő hatását jól tükrözi e mikroklíma paraméter. E melegítő hatás leginkább éjjel és a kora reggeli órákban jelentkezett, amikor is a korommal kezelt állomány melegebbnek bizonyult a kontrollhoz képest.
3. A korommal kezelt kukorica állomány relatív nedvességtartalma szignifikáns eltérést mutatott a kontroll állományhoz képest. A korom sötét színe miatti sugárzás elnyelési kényszer és a megnövekedett zöldfelület kettős hatása miatt lehetett nedvesebb a korommal szennyezett kukorica állomány levegője.
4. A korommal kezelt kukorica sötétebb színe miatti több energiaelnyelést a magasabb rövidhullámú sugárzási egyenleg is bizonyított. Ez a növekedés mindhárom évben szignifikánsnak bizonyult. A nagyobb sugárzás elnyelési kényszer miatt a kukoricában többlet energia alakult ki, mely energia egy része a már említett magasabb párolgásra fordítódott.
5. Evapotranszpirációs kádakban a többlet vízhasználás magasabb teljes szárazanyag tartalomban realizálódott. Ez egyben azt is jelenti, hogy ha öntözéssel egészítjük ki a természetes csapadékellátást a szennyezett területeken, akkor a korom pozitív hatású is lehet.
6. Szennyezéskor a kormot porozóval juttattuk a kukorica felületére. Ez a kijuttatás teljesen analóg a közlekedésből származó korom elhelyezkedésével. Ezzel a kipufogógáz valós környezetszennyezését próbáltuk szimulálni, legjobb tudásunk szerint az irodalomban elsőként. Korábban a korom hatásvizsgálata döntően a talajon keresztüli szennyezés hatás-elemzésével történt.

## 8. THESES

1. Black carbon pollution reduced the albedo of maize significantly in all three years. Our research has demonstrated the albedo decreasing effect of the black carbon on the leaves of the plant. This decrease influenced the entire radiation balance of the plant. The higher radiation absorption because of the reduced albedo appeared significantly in the evapotranspiration. The sum of cumulative evapotranspiration of the soot polluted maize was significantly higher in all three examined years than the control maize.
2. The canopy inside air temperature of the treated maize showed a significant difference compared to the average temperature of control maize. The warming effect of the soot is well reflected by this microclimate parameter. This warming effect was most common at night and early in the morning, when the treated maize canopy was warmer than the control maize stand.
3. The relative moisture content of the treated maize showed a significant difference compared to the control stand. The air of the sooted maize canopy could be damper due to the absorption constraint and the increased green surface.
4. The more energy absorption due to the darker color of soot has been demonstrated by the higher short-wave radiation balance of soot contaminated maize. This increase is proved to be significant in all three years. Because of the increased radiation absorption constraint excess energy was generated in the maize. A part of this energy was spent on the above-mentioned higher evapotranspiration.
5. Extra water consumption in the evapotranspiration tubs was realised in higher full dry-matter content. This also means that if natural sprinkling is supplemented by irrigation in contaminated areas, soot can have a positive effect.
6. During contamination, the soot was applied to the corn surface by a motorized powder. This application is completely analogous to the location of black carbon from transport. The real pollution of the exhaust gases were simulated, in the best of our

knowledge, in the literature first. Previously, the impact assessment of the soot was mainly influenced by soil impact assessment.



## 9. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

### *Idegen nyelvű lektorált publikációk*

1. Anda, A., **Illes, B.** (2012) Impact of simulated airborne soot on maize growth and development. Accepted in the Journal of Environmental Protection. 2012 (Vol. 3 No. 8.).
2. Anda, A., **Illés, B.**, Soós, G. (2013) Effect of cadmium pollution of atmospheric origin on field-grown maize in two consecutive years with diverse weather conditions. Acta Biologica Hungarica 64(4), accepted: January 28, 2013; pp.: 476-489
3. Anda, A., **Illes, B.** (2014) Impact of Cadmium on Field Grown Maize in Three Consecutive Growing Season. Cereal Research Communications. Referencia: No. CRC-D-13-00147R2. Elfogadva 2014. január 27. Impact factor: 0,607 (Q3-as publikáció).
4. **Illes, B.**, Anda, A., Soós, G. (2016) Impact of soot pollution on fwe radiation and water balance characteristics in maize. Georgikon for Agriculture. Volume 20, Number 2, HU ISSN 0239 1260, pp.: 2-13.

### *Teljes terjedelmű lektorált konferencia anyagok és poszterek (idegen nyelven)*

1. Anda, A and **Illes, B** (2011) Radiation properties of maize canopy polluted with black carbon. Poster on the 19<sup>th</sup> Int. Poster Day entitled Transport of water, chemicals and energy in the soil-plant-atmosphere system held in Bratislava, Slovak Republic on 10th November 2011. CD-ROM (Celková, A. ed), pp.: 12-21.  
ISBN 978- 80- 89139-26-20.
2. Anda, A and **Illes, B** (2012) Field study in simulation black carbon impacts on maize. Presentation on the Fifth International Scientific Conference BALWOIS, Conference on Water, Climate and Environment, in Ohrid, Republic of Macedonia from 28th May

to 2nd June 2012. Proceeding of the Conference can be found on the website of the Conference: [www.balwois.com2012](http://www.balwois.com2012), pp.:12.

3. **Illes, B.**, Anda, A. (2012) Field effects of cadmium contamination in the radiation characteristics of maize. Abstract. European Geosciences Union General Assembly 2012, Vienna, Austria, 22 – 27 April 2012 Poster, (Abstract published in volume)
4. **Illes, B.**, Anda, A. (2012) Changes in radiative properties of soot contaminated maize canopy. Abstract. European Geosciences Union General Assembly 2012, Vienna, Austria, 22 – 27 April 2012 Poster, (Abstract published in volume)
5. **Illes, B.**, Anda, A. (2013) Effects of airborne black carbon pollution on maize. European Geosciences Union General Assembly 2013, Vienna, Austria, 07 – 12 April 2013 Poster, Geophysical Research Abstracts Vol. 15.

#### ***Magyar nyelvű teljes terjedelmű konferencia anyag***

1. **Illés, B.**, Anda, A. (2012) Légszennyezés káros hatásai a kukorica evapotranszpirációjára és a termelésére. Előadás, LIV. Georgikon Napok nemzetközi tudományos konferencia, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 2012. október 11-12. Teljes terjedelemben megjelentetve.
2. **Illés, B.**, Anda, A., Martin, G. (2013) Korom hatása a kukorica növekedésére és termelésére. XXIII. Keszthelyi Növényvédelmi Fórum, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 2013. január 23-25. Georgikon for Agriculture különszám, Volume 16., pp.: 221:181-185.
3. **Illés, B.** (2012) Légszennyezés káros hatásai a kukorica növényre. Poszter, LV. Georgikon Napok nemzetközi tudományos konferencia, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 2013. szeptember 26-27. Teljes terjedelemben megjelentetve. ISBN: 978-963-9639-52-2
4. **Illés, B.**, Anda, A., Martin, G., Soós, G. (2013) Kukorica növény változásai légszennyezés hatására 2010 és 2012 között. Poszter, XXIV. Keszthelyi Növényvédelmi Fórum, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 2014. január 22-

24. Teljes terjedelemben megjelent a *Geogikon for Agriculture* 19. számának 1. kötetében 19. kötet, 1. szám: 239-244.

### *Magyar előadások*

1. **Illés, B.**, Anda, A. (2012) Gépjárművek működéséből származó légszennyezés káros hatása a kukorica sugárzás-háztartási jellemzőire. Előadás, „Mobilitás és környezet: járműipar, energetika és környezetvédelem” konferencia és 55. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés, Pannon Egyetem, Veszprém, 2012. július 9-11.
2. **Illés, B.**, Anda, A. (2012) Levélfelület-index és albedó változása légköri kadmium szennyezés hatására kukorica növényen 2010 és 2011 között. Előadás, Környezettudományi Doktori Iskolák Konferenciája, Eötvös Lóránd Tudományegyetem Természettudományi Kar, Budapest, 2012. augusztus 30-31.
3. **Illés, B.**, Anda, A. (2012) Légköri koromszennyezés káros hatásai a kukorica evapotranszpirációjára és a termelésére. Előadás, LIV. Geogikon Napok nemzetközi tudományos konferencia, Pannon Egyetem Geogikon Kar, Keszthely, 2012. október 11-12. Teljes terjedelemben megjelentetve.
4. **Illés, B.**, Anda, A. Martin, G. (2013) Korom hatása a kukorica növekedésére és termelésére. XXIII. Keszthelyi Növényvédelmi Fórum, Pannon Egyetem Geogikon Kar, Keszthely, 2013. január 23-25. *Geogikon for Agriculture* különszám, Volume 16., pp: 221:181-185.

### *Idegen nyelvű előadások*

1. Anda, A, **Illés, B** (2012) Field study in simulation black carbon impacts on maize. Presentation on the Fifth International Scientific Conference BALWOIS, Conference on Water, Climate and Environment, in Ohrid, Republic of Macedonia from 28th May to 2nd June 2012. Proceeding of the Conference can be found on the website of the Conference ([www.balwois.mc](http://www.balwois.mc)).

2. Anda, A., **Illes, B.** (2013) Cadmium induced variation in solar energy distribution of maize stand, particularly in relation to evapotranspiration. 3<sup>rd</sup> BioHydrology Conference, 21<sup>st</sup> – 24<sup>st</sup> May, Landau/Pfalz, Germany, Oral Presentation.

## 10. FELHASZNÁLT IRODALOM

Ács, F., Horváth, Á., Breuer, H. (2008) A talaj szerepe az időjárás alakulásában. *Agrokémia és Talajtan* 57, 225–238.

Allen, R. G., Gichuki, F. N., Rosenzweig, C. (1991) CO<sub>2</sub>-induced climate changes and irrigation-water requirements. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 117 (2), 157-178.

Allen, A. G., Nembitzb, E., Shia, J. P., Harrisona, R. M., Greenwoodc, J. C. (2001) Size distributions of trace metals in atmospheric aerosols in the United Kingdom, *Atmospheric Environment*, 35, 4581-4591.

Allen, C. D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., Mcdowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D.D., Hogg, E.H. et al. (2010) A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *For. Ecol. Manage.* 259, 660–684.

Amodio, M., Caselli, M., de Gennaro, G., Tutino, M. (2009) Particulate PAHs in two urban areas of Southern Italy: impact of the sources, meteorological and background conditions on air quality. *Environmental Research*, 812-820.

Anda, A. (1986) Effect of Cement Kiln Dust on the Radiation Balance and Yields of Plants. *Environmental Pollution, Ser. A.* 40: 249-256.

Anda, A. (2001) Az állományklímát befolyásoló néhány eljárás mikrometeorológiai elemzése. *Akadémiai Doktori Értekezés*, Budapest.

Anda, A. and Lőke, Zs. (2004) A sugárzás- és a hőháztartási mérleg komponenseinek alakulása eltérő sűrűségű kukorica hibridekben. *Növénytermelés* 35, 389–398.

- Anda, A. (2005) A klímaváltozás hazai mezőgazdasági következményei. KLÍMA-21 Füzetek 41. 18–29.
- Anda, A., Lőke, Zs., Kirkovits, M., (2002) Kukorica néhány vízháztartási jellemzőjének szimulációja. J. Centr. Eur. Agric. 3. 95–103.
- Anda, A., Soós, G. (2012) Validation of an automated compensation evapotranspirometer with cadmium polluted maize. Georgikon for Agriculture. 15:(1) 33-48.
- Andreae, M. O., Critzen, P. J. (1997) Atmospheric aerosols: biogeochemical sources and role in atmospheric chemistry. Science 276, 1052-1058.
- Andreae, M. O., Gelencsér, A. (2006) Black carbon or brown carbon? The nature of light-absorbing carbonaceous aerosol. Atmospheric Chemistry and Physics 6, 3131-3148.
- Andreae, M. O., Rosenfeld, D. (2008) Aerosol-cloud-precipitation interactions. Part 1. The nature and sources of cloud-active aerosols, Earth-Science Reviews, 89, 13-41.
- Bapna, M., Raman, R. S., Ramachandran, S., Rajesh, T. A. (2012) Airborne black carbon concentrations over an urban region in western India—temporal variability, effects of meteorology, and source regions. Environmental Science and Pollution Research. DOI: 10.1007/s11356-012-1053-3.
- Barbat I., Puja I. (1957) Der Einfluss des Lichtes auf die Entwicklung des Maises. Z. Landwirtschaft. 3, 105-113. Cit.: Menyhért Z. /szerk./ (1985) A kukoricatermesztés kézikönyve. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Baron R. E., Montgomery W. D., Tuladhar S. D. (2010) An analysis of black carbon mitigation as a response to climate change, Copenhagen Consensus Center, <[http://fixtheclimate.com/uploads/tx\\_templavoila/AP\\_Black\\_Carbon\\_Baron\\_Montgomery\\_Tuladhar\\_v.4.0.pdf](http://fixtheclimate.com/uploads/tx_templavoila/AP_Black_Carbon_Baron_Montgomery_Tuladhar_v.4.0.pdf)>, accessed on 20/06/10.
- Baronti S., Alberti G., Delle Vedove G., Di Gennaro F., Fellet G., Genesio L., Miglietta F., Peressotti A., Vaccari F. P. (2010) The biochar option to improve plant yields: first results from some field and pot experiments in Italy Ital. J. Agron. 5 3–11.
- Barriopedro, D., Fisher, E.M., Luterbacher, J., Trigo, R.M., García-Herrera, R., (2011) The hot summer of 2010: redrawing the temperature record map of Europe. Science 332, 220-224.

Battisti, D.S., Naylor, R.L. (2009) Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat. *Science* 323, 240-244.

Bell, S. Ashendan, T. W. and Rafarel, C. R. (1992) Effects of rural roadside levels of nitrogen dioxide on *Polytricum formosum* Hedw. *Environmental Pollution* Volume 76. pp.: 11-14

Bocz E. /szerk./ (1992) Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

Boda, L. (Szerk.) (2001) A Kis-Balaton és a Keszthelyi-hagyság. Kalauz turistáknak és természetbarátoknak. B.K.L. Kiadó, Szombathely: 21.

Bond, T. C., Doherty, S. J., Fahey, D. W., Forster, P. M., Berntsen, T., DeAngelo, B. J., Flanner, M. G., Ghan, S., Kärcher, B., Koch, D., Kinne, S., Kondo, Y., Quinn, P. K., Sarofim, M. C., Schultz, M. G., Schulz, M., Venkataraman, C., Zhang, H., Zhang, S., Bellouin, N., Guttikunda, S. K., Hopke, P. K., Jacobson, M. Z., Kaiser, J. W., Klimont, Z., Lohmann, U., Schwarz, J. P., Shindell, D., Storelvmo, T., Warren, S. G., and Zender, C. S. (2013) Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 118, 5380–5552, <https://doi.org/10.1002/jgrd.50171>.

Boros L. (2010) A globális gazdaság környezeti és társadalmi konfliktusai. In: Mészáros Rezső: A globális gazdaság földrajzi dimenziói. Akadémiai Kiadó, Budapest, pp: 283.

Bozó, L., Horváth, L., Láng, I., and Vári, A. /Eds./ (2010) Környezeti Jövőkép – Környezet-és Klímabiztonság. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest.

Bozó, L., Mészáros, E., Molnár, Á. (2006) Levgőkörnyezet. Akadémiai Kiadó, Budapest.

Brodowski, S., Amelung, W., Haumaier, L., Abetz, C., Zech, W. (2005) Morphological and chemical properties of black carbon in physical soil fractions as revealed by scanning electron microscopy and energy-dispersive X-ray spectroscopy. *Geoderma* 128, 116–129.

Brodowski, S., John, B., Flessa, H., Amelung, W., (2006) Aggregate-occluded black carbon in soils. *European Journal of Soil Science* 59, 539–546.

Brouwer W. (1970) Handbuch des speziellen Pflanzenbaues in Banden. Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg.

- Brown, J., Romanovsky, V.E. (2008) Report from the International Permafrost Association: state of permafrost in the first decade of the 21st century. *Permafr. Periglac. Process.* 19, 255-260.
- Burke, E. J., Brown, S. J. (2008) Evaluating uncertainties in the projection of future drought. *J. Hydrometeorol.* 9, 292–299.
- Cachier, H., (1998) Atmospheric particles. Harrison, R.M., van Grieken, R.E. (Eds.), Wiley, Chichester, pp. 295–348.
- Campbell, G.S., Norman J.M. (1998) An introduction to environmental biophysics, 2nd edition. Springer, New York, NY, USA.
- Chen, J. (1984) Mathematical analysis and simulation of crop micrometeorology. PhD. Thesis. The Netherlands.
- Cheng, L., Sandhu, H.S., Angle, R.P., McDonald, K.M., Myrick, R.H. (2000) Rural particulate matter in Alberta, Canada. *Atmospheric Environment* 34, 3365–3372.
- Chuang, C. C., Penner, J. E., Taylor, K. E., Grossman, A. S., Walton, J. J. (1997) An assessment of the radiative effects of anthropogenic sulfate, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102, 3761-3778.
- Cicerone R. J., Nurse S.P. (2014) Climate change. Evidence and causes. The Royal Society and US National Academy of Sciences
- Claeys, M., Wang, W., Vermeylen, R., Kourtchev, I., Chi, X., Farhat, Y., Surratt, J. D., Gómez-González, Y., Sciare, J., Maenhaut, W. (2010) Chemical characterization of marine aerosol at Amsterdam Island during the austral summer of 2006-2007, *Journal of Aerosol Science*, 41, 13-22.
- Colvile, R. N., Hutchinson, E.J., Mindell, J.S., Warren, R.F. (2001) The transport sector as a source of air pollution. *Atmospheric Environment* 35, 1537-1565.
- Conway, E. (2008) What's in a Name? Global warming vs. Climate Change. NASA News Topics, [http://www.nasa.gov/topics/earth/features/climate\\_by\\_any\\_other\\_name.html](http://www.nasa.gov/topics/earth/features/climate_by_any_other_name.html), letöltve: 2018. április

- Cornelissen, G., Gustafsson, O., Bucheli, T. D., Jonker, M. T. O., Koelmans, A. A., Noort, P. C. M. V. (2005) Extensive sorption of organic compounds to black carbon, coal, and kerogen in sediments and soils: mechanisms and consequences for distribution, bioaccumulation, and biodegradation. *Environ. Sci. Technol.* 39: 6881–6895.
- Coumou, D., Rahmstorf, S., (2012) A decade of weather extremes. *Nature Clim. Change* 2, 491-496.
- Curtis, L., Rea, W., Smith-Willis, P., Fenyves, E., Pan, Y. (2006) Adverse health effects of outdoor air pollutants. *International Environment*, 32, 815-830.
- Dai, A. (2012) Increasing drought under global warming in observations and models. *Nat. Clim. Change* 3, 52–58.
- Davies, J. A., Idso S. B. (1979) Estimating the surface radiation balance and its components. In: Barfield, B. J., Gerber J. F. (Eds.), *Modifications of the aerial environment of crops*. ASAE St. Joseph, MO, USA. p: 183-210.
- Debreczeni B. és Denreczeni B-né (1983) *A tápanyag- és vízellátás kapcsolata*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
- D’Odorico, P., Porporato, (2006) *A. Dryland Ecohydrology*.
- Donaldson, K., Li, X. Y., MacNee, W. (1998) Ultrafine (nanometer) particle mediated lung injury. *Journal of Aerosol Science* 29, 553–560.
- Duncan W.G., Hesketh J.D. (1968) Net photosynthetic rates, relative leaf growth rates and leaf numbers of 22 races of maize grown at eight temperatures. *Crop Science*. 8, 670-674.
- Durrani, G. F., Hassan, M., Baloch, M. K. and Hameed, G. (2004) Effect of traffic pollution on plant photosynthesis. *J. Che. Soci. Pak.*26: 176-179.
- Dzomeku, B. M. and Enu-Kwesi, L. (2006) Eco-physiological study on two urban forestry species (*Azadirachta indica* and *Millettia thonningii*) in Ghana. *Res. J. Bot.* 1: 134-138.
- Elad, Y., David, D.R., Harel, Y.M., Borenshtein, M., Ben Kalifa, H., Silber, A., Graber, E.R., (2010) Induction of systemic resistance in plants by biochar, a soilapplied carbon sequestering agent. *Phytopathology* 100, 913-921.



EUROSTAT Pocketbooks (2007) Energy, transport and environment indicators ISSN 1725-4566.

Fang C., Moncrieff J. B. (2001) The dependence of soil CO<sub>2</sub> efflux on temperature *Soil Biol. Biochem.* 33 155–65.

Feng, S., Fu, Q. (2013) Expansion of global drylands under a warming climate. *Atmos. Chem. Phys.* 13, 10081–10094.

Flanner, M. G., Zender, C. S., Randerson, J. T. & Rasch, P. J. (2007) Present-day climate forcing and response from black carbon in snow. *J. Geophys. Res.* 112, D11202.

Freer-Smith, P. H., Beckett, K. P., Taylor, G. (2005) Deposition velocities to *Sorbus aria*, *Acer campestre*, *Populus deltoides*, *trixocarpa* Beaupré, *Pinus nigra* and *Cupressocyparis leylandii* for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment. *Environ. Pollution.* 133, pp. 157-167.

Garg, B., Cadle, S., Mulawa, P., Groblicki, P., Laroo, C., Parr, G. (2000) Brake wear particulate matter emissions. *Environmental Science & Technology*, 34, 4463-4469.

Gelencsér, A. (2004) *Carbonaceous Aerosol, Atmospheric and Oceanographic Sciences Library*, 30, Springer, New York.

Gelencsér, A. (2014) Koromrészecskék a levegőben. A kipufogócsőtől az éghajlatmódosításig. *Magyar Tudományos Akadémia folyóirat, Magyar Tudomány.* 1366.

Genesio L., Miglietta F., Lugato E., Baronti S., Pieri M., Vaccari F. P. (2012) Surface albedo following biochar application in durum wheat. *Environmental Research Letters* 7, 014025 (8pp), doi: 10.1088/1748-9326/7/1/014025.

Gieré, R., Querol, X. (2010) Solid Particulate Matter in the Atmosphere. *Elements* 6, 215-222.

Gion, J., Szilvási, B. (1979) *Korszerű gépjárműszerkezetek. Közlekedés- és Postaügyi Minisztérium Autóközlekedési Főosztálya, Budapest.*

Glaser, B. (2007) Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London - Series B: Biological Sciences* 362: 187-196.

Goldberg, E. D. (1985) *Black Carbon in the Environment.* Wiley, New York

Goudriaan, J. (1977) *Crop Micrometeorology: A Simulation Study*. Simulation monographs. Pudoc, Wageningen.

Goudriaan, J., van Laar, H. H. (1994) *Current Issues in production ecology. Modelling Potential Crop Growth Processes*. Textbook with Exercises. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.

Graber, E.R., Harel, Y.M., Kolton, M., Cytryn, E., Silber, A., David, D.R., Tsechansky, L., Borenshtein, M., Elad, Y., (2010) Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. *Plant and Soil* 337, 481-496.

Grafe (1914) *Ernährungsphysiologisches Practicum höherer Pflanzen*. Paul Parey Verlag, Berlin. Cit.: Wilsie C.P. (1969) *A termesztett növények alkalmazkodása és elterjedése a Földön*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

Graham, B., Mayol-Bracero, O. L., Guyon, P., Roberts, G. C., Decesari, S., Facchini, M. C., Artaxo, P., Maenhaut, W., Köll, P., Andreae, M. O. (2002) Water-soluble organic compounds in biomass burning aerosols over Amazonia 1. Characterization by NMR and GC-MS, *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 107, 14-16.

Grantz, D. A., Garner, J. H. B., Johnson, D. W. (2003) Ecological effects of particulate matter. – *Environment International* 29: 213-239.

Hadley O. L., Kirchstetter T. W. (2012) Black-carbon reduction of snow albedo. *Nature Climate Change* 2, 437-440, doi:10.1038/nclimate1433.

Han, L., Zhuang, G., Cheng, S., Wang, Y., Li, J. (2007) Characteristics of re-suspended road dust and its impact on the atmospheric environment in Beijing. *Atmospheric Environment*, 41, 7485-7499.

Hansen, J., Nazarenko, L. (2004) Soot climate forcing via snow and ice albedos. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*. 101, 423–428.

Harnos, Zs., Csete, L. (2008) *Klímaváltozás: Környezet – Kockázat – Társadalom*, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest.

Hatfield, J. L., Carlson, R. E. (1979) Light quality distributions and spectral albedo of 3 maize canopies. *Agric. Met.* 20: 215–226.

Heyder, J., Gebhardt, J., Rudolf, G., Schiller, C. F., Stahlhofen, W. (1986) Deposition of particles in the human respiratory tract in the size range of 0.005-15 mm. *Journal of Aerosol Science*, 17, 811-825.

Hinds, W. C. (1982) *Aerosol technology, properties, behaviour and measurement of airborne particles*, John Wiley and Sons, New York.

Hitchins, J., Morawska, L., Wolff, R., Gilbert, D. (2000) Concentrations of submicrometer particles from vehicle emissions near a major road. *Atmospheric Environment* 34, 51–59.

Horvath H. (1998) *Atmospheric particles*. Harrison, R.M., van Grieken, R.E. (Eds.), Wiley, Chichester, pp. 543–596.

Horvath, H. (1992) Effects on visibility, weather and climate. *Atmospheric acidity. Sources, consequences and abatement*. In: M. Radojevic, and R. M. Harrison (eds.). Elsevier Applied Science. London and New York, pp. 435-466.

Hoyk Edit (2015): *A Magyarországi Klimamodellek* In: Czirfusz Martom, Hoyk Edit, Suva Andrea (szerk.): *Klimaváltozás—Társadalom—Gazdaság. Hosszu TavO Teruleti Folyamatok Es Trendek Magyarországon*. Publikon, Pecs. pp. 91-108.

Huang, J., Yu, H., Guan, X., Wang, G., Guo, R. (2015) Accelerated dryland expansion under climate change. *Nat. Clim. Change* 6, 166–171.

Hussain, F., Sher, Z., Shah, Z. and Durrani, M. J. (2013) Effects of air borne particulate pollutants on the growth of some roadside cultivated plants. *Pak. J. Plant Sci.* 3:73-82.

IPCC WG II (2014) *Climate Change (2014) Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Editors: Field C.B., Barros V.R., Dokken D.J., Mach K.J., Mastrandrea M.D., Bilir T.E., Chatterjee M., Ebi K.L., Estrada Y.O., Genova R.C., Girma B., Kissel E.S., Levy A.N., MacCracken S., Mastrandrea P.R., White L.L. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 1132.

IPCC WGI (2013) *Climate Change (2013) The physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Editors: Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J.,

Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 1535.

Ishaq, M., Khan, A., Ahmad, I., Bahadar, A. and Ibrahim, M. (2012) A threat to Photosynthesis in healthy plants. *J. Sci. Technol.* 26: 55.

Jacobson M.Z., (2001) Strong radiative heating due to the mixing state of black carbon in atmospheric aerosols. *Nature* 409, 695–697.

Jacobson, M.Z. (2002): Control of Fossil-Fuel Particulate Black Carbon and Organic Matter, Possibly the Most Effective Method of Slowing Global Warming. *Journal of Geophysical Research.* 107, 4410, DOI:10.1029/2001JD001376.

Jaenicke, R. (1978) Über die Dynamik atmosphärischer Aitkenteilchen. *Berichte Bunsengesellschaft Physikalische Chemie* 82, 1198-1202.

Jolánkai, M. and Birkás M. (2007) Global climate change impacts on crop production in Hungary. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 72, 17–20.

Jolánkai, M., Nyárai, H.F., Tarnawa, Á., Klupács, H., and Farkas I. (2008) Plant and soil interrelations. *Cereal Res. Commun.* 36, Suppl. 7–10.

Jolánkai, M., Tarnawa, Á., Horváth, Cs., Nyárai, H. F., Kassai, K. (2015) Impact of climatic factors on yield quantity and quality of grain crops. *Időjárás – Quarterly Journal of Hungarian Meteorological Service.* Vol. 120, No. 1 pp.: 73-84.

Jones, H.G. (1983) *Plants and Microclimate*, Cambridge University Press, Cambridge, London, New York-New Rochelle-Melbourne-Sydney, pp: 323.

Jones, H.G. (1992) *Plants and Microclimate. A quantitative approach to environmental physiology.* Second Ed. Cambridge University Press. London, pp: 426-428.

Jones, D.L., Edwards-Jones, G., Murphy, D.V., (2011a) Biochar mediated alterations in herbicide breakdown and leaching in soil. *Soil Biology & Biochemistry* 43, 804-813.

Jones, D.L., Rousk, J., Edwards-Jones, G., DeLuca, T.H., Murphy, D.V., (2012) Biochar-mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial. *Soil Biology and Biochemistry* 45, 113-124.

Jones, D.L., Murphy, D.V., Khalid, M., Ahmad, W., Edwards-Jones, G., DeLuca, T.H., (2011b) Short-term biochar-induced increase in soil CO<sub>2</sub> release is both biotically and abiotically mediated. *Soil Biology & Biochemistry* 43, 1723-1731.

Junge, C. E. (1963) *Air chemistry and radioactivity*, Academic Press, New York

Kádár I. (2008) A levéltrágyázás jelentősége és szerepe a növénytáplálásban. *Acta Agronomica Óváriensis*. Vol. 50. No. 1. 19-27.

Kaiser H.M., Riha S.J., Wilks D.S., Rossiter D.G., Sampath R. (1993) A farm-level analysis of economic and agronomic impacts of gradual climate warming. *American Journal of Agricultural Economics*. 75, 387-398.

Kerényi A. (2003) *Környezettan – Természet és társadalom – globális nézőpontból*. Mezőgazda Kiadó, Budapest

Khalid, F., Iqbal, M. Z., and Qureshi, M. S. (2014) Concentration of heavy metals determined in levels and soil from different localities in Karachi city. *Environ. Sci.* 4: 213.

Király G., (2017) Éghajlatváltozás és alkalmazkodás a mezőgazdaságban. Magyarok a Kárpát-medencében 2.: Tudományos Nemzetközi Konferencia, Szeged, pp: 369-379. ISBN: 978-615-80462-0

Klaver, A., Formenti, P., Caquineau, S., Chevaillier, S., Ausset, P., Calzolari, G., Osborne, S., Johnson, B., Harrison, M., Dubovik, O. (2011) Physico-chemical and optical properties of Sahelian and Saharan mineral dust: in situ measurements during the GERBILS campaign, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137, 1193-1210.

Klupács, H., Tarnawa, Á., Balla, I., and Jolánkai, M. (2010) Impact of water availability on winter wheat (*Triticum aestivum* L.) yield characteristics. *Agrokémia és Talajtan* 59,151–156.

Knapp, A. K., Hoover, D.L., Wilcox, K.R., Avolio, M.L., Koerner, S.E., La Pierre, K.J., Loik, M.E., Luo, Y., Sala, O.E., Smith, M.D. (2016) Characterizing differences in precipitation regimes of extreme wet and dry years: implications for climate change experiments. *Glob. Change Biol.* 21, 2624–2633.

Kocsis, T., Anda, A. (2006) *A keszthelyi meteorológiai megfigyelések története*. PE GMK, Keszthely.

- Koltai, G., Milics, G., Neményi, M., Nagy, V., and Rajkai, K. (2008) Plant water supply of layered alluvial soils under different weather conditions. *Cereal Res. Commun.* 36, Suppl. 167–171.
- KSH, Központi Statisztikai Hivatal (2016)
- Kulmala, M. (2003) How particles nucleate and grow? *Science* 302, 1000-1001.
- Kupiainen, K., Tervahattu, H., Raesaenen, M., Maekelae, T., Aurela, M., Hillamo, R. (2005) Size and composition of airborne particles from pavement wear, tires and traction sanding. *Environmental Science & Technology*, 39, 699-706.
- Laghari, S. K. and Zaidi, M. A. (2013) Effect of air pollution on leaf morphology and common plant species in Quetta city. *Pak. J. Bot.* 45: 447-454
- Laird D. A., Fleming P., Davis D. D., Horton R., Wang B. Q., Karlen D. L. (2010) Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil *Geoderma*. 158 443–9.
- Láng I. szerk. (2007) A globális klímaváltozás: Hazai hatások és válaszok, a VAHAHA-jelentés, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest
- Láng, I., Csete, L., Jolánkai, M. (2007) A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok – A VAHAHA jelentés. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, pp.:220
- Lehmann, J., (2007) Bioenergy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5, 381-387.
- Lehmann, J., da Silva Jr., J.P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., Glaser, B., (2003) Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the central amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil* 249, 343-357.
- Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C., Crowley, D., (2011) Biochar effects on soil biota review. *Soil Biology & Biochemistry* 43,1812-1836.
- Lesk, C., Rowhani, P., Ramankutty, N. (2012) Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature, International Journal of Science.* 529, 84-87.

Lighty, J. S., Veranth, J. M., Sarofim, A. F. (2000) Combustion aerosols: factors governing their size and composition and implications to human health. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 50, 1565-1618.

Loomis, D. (2000) Sizing up air pollution research. *Epidemiology* 11, 2–4.

Lőke, Zs. K. (2004) A kukorica néhány élettani folyamatának eltérő vizsgálati eljárásokkal történő elemzése. Doktori (PhD) értekezés. Veszprémi Egyetem, Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar, Interdiszciplináris Doktori Iskola, Keszthely.

MAE. (2005) *Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis* (World Resources Institute).

Magyar, P. (1998) A tüdő és a légzőrendszer anatómiája, Magyar, P., Hutás, I., Vastag, E. (szk.), *Pulmatológia*, 3-13., Medicina Győr.

Mark D. (1998) *Atmospheric particles*. Harrison, R.M., van Grieken, R.E. (Eds.), Wiley, Chichester. pp. 29–94.

Marvel, K., Bonfils, C. (2013) Identifying external influences on global precipitation. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 110, 19301–19306.

Mehmood, M. T. and Iqbal, M. Z (1989) Impact of vehicular emission on seed germination of some roadside trees. *Pak. J. Sci. Indus Res.* 32: 752-753.

Menon, S., Koch, D., Beig, G., Sahu, S., Fasullo, J., Orlikowski, D. (2010) Black carbon aerosols and the third polar ice cap. *Atmos Chem Phys* 10:4559–4571.

Mészáros, E. (1997) *Levegőkémia*, Veszprém Egyetemi Kiadó

Mészáros, E. (2001) *A környezettudomány alapjai*. Akadémiai Kiadó

Mészáros, R. (2013) *Meteorológiai műszerek és mérőrendszerek*. TÁMOP-4.1.2 A1 és a TÁMOP-4.1.2 A2 könyvei. Eötvös Loránd Tudományegyetem

Milly, P. C. D., Dunne, K. A. (2016) Potential evapotranspiration and continental drying. *Nat. Clim. Change* 6, 946–949.

- Mitra, A. P., Morawska, L., Sharma, C., Zhang, J. (2002) Chapter two: methodologies for characterisation of combustion sources and for quantification of their emissions. *Chemosphere* 49, 903-922.
- Molnár, Á., Gácsér, V. (2011) Látótávolság és légszennyezettség. *Repüléstudományi közlemények különszáma 2011/2*, 2011. április 15.
- Molnár, T., Molnárné Barna, K. (2015) A szélsőséges időjárási jelenségek hatásai. *Deturope- The Central European Journal of Regional Development and Tourism*. Vol. 7, Issue 1, pp: 79-94.
- Molnárné Barna, K., Molnár, T. (2015) A globális felmelegedésről. *Deturope- The Central European Journal of Regional Development and Tourism*. Vol. 7, Issue 1, pp: 95-109.
- Monsi, M., Saeki, T. (1953) Uber den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und Seine Bedeutung für die Stoffproduktion, *Japanese Journal of Botany*, Vol. 14, pp.: 22-52.
- Muhammad, S. Zaheer-ud-Din, K. H. A. N. Zaheer, A. and Faheem, M. (2014) *Alstonia scholar* Plant are bio indicator along road side in Lahore city. *Pak. J. Bot.* 46: 869-873.
- Mulawa, P., Cadle, S., Knapp, K., Zweidinger, R., Snow, R., Lucas, R., Goldbach, J. (1997) Effect of ambient temperature and E-10 fuel on primary exhaust particulate matter emissions from light-duty vehicles. *Environmental Science & Technology*, 31, 1302-1307.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (2014)
- Naveed, N. H., Batool, A.I., Rehman, F.U. and Hameed, U. (2010) Leaves of roadside plants as bioindicator of traffic related lead pollution during different seasons in Sargodha, Pakistan. *African J. Environ. Sci. Technol.* 4: 770-774.
- Nawazish, S., Hussain, M., Ashraf, M., Ashraf, M. Y. and Jamil, A. (2012) Effect of automobile related metal pollution (Pb<sup>2+</sup> & Cd<sup>2+</sup>) on some physiological attributes of wild plants. *Int. J. Agri. Biol.* 14: 953-958.
- Nield R.E. (1982) Temperature and rainfall influences on the phenology and yield of grain sorghum and maize: a comparison. *Agricultural Meteorology*. 27,79-88.



- Oberdörster, G., Oberdörster, E., Oberdörster, J. (2005) Nanotoxicology: An emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environmental Health Perspectives*, 113, 823-839.
- Oguntunde P. G., Van de Giesen N. (2004) Crop growth and development effects on surface albedo for maize and cowpea fields in Ghana, West Africa. *Int. J. of Biomet.* 49. 2: 106-112.
- Oke, T.R., (1987) *Boundary layer climates*. Routledge, New York, USA.
- Orlowsky, B., Seneviratne, S. I. (2013) Elusive drought: uncertainty in observed trends and short- and long-term CMIP5 projections. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 17, 1765–1781.
- Pacyna, J. M. (1998) Source inventories for atmospheric trace metals. In: *Atmospheric Particles*, Harrison, R. M., Grieken, R. V. Eds. Wiley, Chichester UK, 385-424.
- Patra, A., Colvile, R., Arnold, S., Bowen, E., Shallcross, D., Martin, D., Price, C., Tate, J., ApSimon, H., Robins, A. (2008) On treet observations of particulate matter movement and dispersion due to traffic in an urban road. *Atmospheric Environment*, 42, 3911-3926.
- Péczely, Gy. (1998) *Éghajlattan. II. kiadás*, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- Peiris D.R., Crawford J.W., Grashoff C., Jefferies R.A., Porter J.R., Marshall B. (1996) A simulation study of crop growth and development under climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*. 79, 271-287.
- Perrone, M. G., Gualtieri, M., Ferrero, L., Porto, C. L., Udisti, R., Bolzacchini, E., Camatini, M. (2010) Seasonal variations in chemical composition and in vitro biological effects of fine PM from Milan. *Chemosphere*, 78, 1368-1377.
- Peters, K., Eiden, R. (1992) Modelling the dry deposition velocity of aerosol particles to a spruce forest. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*. Volume 26, Issue 14, pp.: 2555-2564.
- Pilinis, C., Pandis, S. N., Seinfeld, J. H. (1995) Sensitivity of direct climate forcing by atmospheric aerosol to aerosol-size composition. *Journal of Geophysical Research*, 100, 18739-19754.
- Pintér, J., Marton, L. Cs., Pál, M., Rácz, M., Serényi, M., Szigeti, Z., Tóth, Z., Veisz, O. B. (2008) Az UV-B sugárzás hatása a kukorica fejlődésére = Effects of UV-B radiation on maize development. *Munkabeszámoló. OTKA*.

Pless-Mulloli, T., King, A., Howel, D., Stone, I., Merefield, J. (2000) PM<sub>10</sub> levels in communities close to and away from opencast coal mining sites in Northeast England. *Atmospheric Environment* 34, 3091–3101.

Polichetti, G., Cocco, S., Spinali, A., Trimarco, V., Nunziata, A. (2009) Effects of particulate matter (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>1</sub>) on the cardiovascular system. *Toxicology*, 261, 1-8.

Porter, J. R., Xie, L., Challinor, A. J., Cochrane, K., Howden, S. M., Iqbal, M. M., Lobell, D. B., Travasso, M. L. (2014) Food Security and Food Production Systems. In: Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R. és White, L.L. (szerk.): *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, New York: Cambridge University Press. pp. 485-533.

Prudhomme, C., Giuntoli, I., Robinson, E.L., Clark, D.B., Arnell, N.W., Dankers, R., Fekete, B.M., Franssen, W., Gerten, D., Gosling, S.N., Hagemann, S., Hannah, D.M., Kim, H., Masaki, Y., Satoh, Y., Stacke, T., Wada, Y., Wisser, D. (2014) Hydrological droughts in the 21st century, hotspots and uncertainties from a global multimodel ensemble experiment. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 111, 3262–3267.

Prusty, B. A. K., Mishra, P. C., Azeez, P. A. (2005) Dust accumulation and leaf pigment content in vegetation near the national highway at Sambalpur, Orissa, India. *Ecotoxicology and Environ. Safety*. 60, pp. 228-235.

Raes, F., Dingenen, R. V., Vignati, E., Wilson, J., Putaud, J. P., Seinfeld, J. H., Adams, P. (2000) Formation and cycling of aerosol in the global troposphere. *Atmospheric Environment* 34, 4215-4240.

Rakonczai J. (2008) *Globális környezeti kihívások*. Universitas Szeged Kiadó, Szeged

Reddy, M. S., Venkataraman, C. (2002) Inventory of aerosol and sulphur dioxide emissions from India: I—fossil fuel combustion. *Atmos Env* 36:677–697.

Reeves, T., Greme, G. és Ramsay, G. (2016): *Save and Grow in Practice*. FAO, Rome.

Ritter W.F. and Beer C.E. (1969) Yield reduction by controlled flooding of corn. *Trans. ASAE*. 12, 46-50.

Romanovsky, V.E., Drozdov, D.S., Oberman, N.G., Malkova, G.V., Kholodov, A.L., Marchenko, S.S., Moskalenko, N.G., Sergeev, D.O., Ukraintseva, N.G., Abramov, A.A., Gilichinsky, D.A., Vasiliev, A.A. (2010) Thermal state of permafrost in Russia. *Permafrost. Periglac. Process*. 21, 136-155.

Rogge, W.F., Mazurek, M.A., Hildemann, L.M., Cass, G.R., Simoneit, B.R.T. (1993) Quantification of urban organic aerosols at a molecular level: Identification, abundance and seasonal variation, *Atmospheric Environment*, 27 A, 1309-1330.

Rosen, H., Hansen, A. D. A., Gundel, L., Novakov, T. (1978) Identification of the optically absorbing component in urban aerosols, *Applications of Interval Computations*, 17, 3859-3861.

Sagebiel, J., Zielinska, B., Walsh, P., Chow, J., Cadle, S., Knapp, K., Zweidinger, R. (1997) PM-10 exhaust samples collected during IM-240 dynamometer tests of in service vehicles in Nevada. *Environmental Science & Technology*, 31, 75-83.

Ruppert, J. C., Harmony, K., Henkin, Z., Snyman, H.A., Sternberg, M., Willms, W., Linstädter, A. (2015) Quantifying drylands' drought resistance and recovery: the importance of drought intensity, dominant life history and grazing regime. *Glob. Change Biol*. 21, 1258–1270.

Schewe, J., Heinke, J., Gerten, D., Haddeland, I., Arnell, N.W., Clark, D.B., Dankers, R., Eisner, S., Fekete, B.M., Colón-González, F.J., Gosling, S.N., Kim, H., Liu, X., Masaki, Y., Portmann, F.T., Satoh, Y., Stacke, T., Tang, Q., Wada, Y., Wisser, D., Albrecht, T., Frieler, K., Piontek, F., Warszawski, L., Kabat, P. (2013) Multimodel assessment of water scarcity under climate change. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 111, 3245–3250.

Schwartz, J., Neas, L.M. (2000) Fine particles are more strongly associated than coarse particles with acute respiratory health effects in schoolchildren. *Epidemiology* 11, 6–10.

Seinfeld, J. H., Pandis, S. N. (2006) *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, 2nd edition. John Wiley and Sons, New York

Shafiq, M. and Iqbal, M. Z. (2003) Effects of automobile pollution on the phenology and periodicity of some roadside plants. *Pak. J. Bot.* 35: 931-938.

Shafiq, M. and Iqbal, M. Z. (2005) The impact of auto emission on the biomass production of some road side plants. *Int. J. Biol. Biotech.* 2: 93-98.

Shafiq, M. and Iqbal, M. Z. (2007) Germination and seedling behaviors' of seeds of *Peltophorum pterocarpum* D.C. Baker Ex K. Heyne growing under motor vehicle emission. *Turk. J. Bot.* 31: 565-570.

Shaw R.H., Dale R.F. (1959) Climate and corn yields in Iowa. *Weekly Weather and Crop Bulletin.* 19, 7-8.

Sherwood, S., Fu, Q. (2014) A drier future? *Science* 343, 737–739.

Siddiqui, A. D. and Iqbal, M. Z. (1994) Growth reduction in some roadside plants. *Ekologia (Bratislava)* 13:155- 159.

Skalová, J. and Jaros, B. (2008) Soil water regime assessment in Morava basin. *Cereal Res. Commun.* 36. Suppl., 243–246.

Smith, J.L., Collins, H.P., Bailey, V.L., (2010) The effect of young biochar on soil respiration. *Soil Biology & Biochemistry* 42, 2345-2347.

Snyder, D. C., Rutter, A. P., Worley, C., Olson, M., Plourde, A., Bader, R. C., Dallmann, T., Schauer, J. J. (2010) Spatial variability of carbonaceous aerosols and associated source tracers in two cities in the Midwestern United States, *Atmospheric Environment*, 44, 1597-1608.

SPSS Statistics 17.0; IBM Corporation, New York, US

STATA 5.0 (1997) Stata Corporation LP Texas, USA, [www.stata.com](http://www.stata.com)

Statisztikai Tükör (2014) A búza és a kukorica termesztése, kereskedelme és felhasználása a világon. Központi Statisztikai Hivatal. 2014/132.

Steiner, A. L. and Chameides, W. L., (2005) Aerosol-induced thermal effects increase modelled terrestrial photosynthesis and transpiration, *Tellus B*, 57, 404–411.

Sterling, S. M., Ducharme, A., Polcher, J. (2013) The impact of global land-cover change on the terrestrial water cycle. *Nat. Clim. Change* 3, 385–390.

Stern, Sir Nicholas: A Világbank volt vezető közgazdásza, az angol kormány pénzügyi tanácsadója

Stoffyn-Egli, P., Potter, T. M., Leonard, J. D., Pocklington, R. (1997) The identification of black carbon particles with the analytical scanning electron microscope: method and initial results. *Science of the Total Environment* 198, 211–223.

Szöllősi, G., Ujj, A., Szentpétery, Zs., and Jolánkai, M. (2004) A szántóföldi növénytermesztés néhány agroökológiai aspektusa. *AGRO-21 Füzetek* 37, 77–88.

Taghizadeh-Toosi, A., (2011) Biochar incorporation into pasture soil suppresses in situ nitrous oxide emissions from ruminant urine patches. *Journal of Environmental Quality* 40, 468-476.

Tánczos Dr., L. (1994) Közlekedésgazdaságtan I. Egyetemi jegyzet. BME Közlekedésgazdasági Tanszék, Budapest.

Tarnawa, Á. and Klupács, H. (2006) Element and energy transport model for an agricultural site. *Cereal Res. Commun.* 34, 85–89.

Tölgyesi L. (1992) Az időjárás és a kukorica fejlődése közötti kapcsolat. Beszámolók az 1987-ben végzett tudományos kutatásokról. OMSZ, Budapest. pp: 78-86.

Török, Á. (2008) A közúti közlekedés klímára gyakorolt hatása. *Klíma-21 Füzetek* 52. pp: 92-97

Turnbull, A.B., Harrison, R.M. (2000) Major component contributions to PM10 composition in the UK atmosphere. *Atmospheric Environment* 34, 3129–3137.

Trenberth, K. E. et al. (2014) Global warming and changes in drought. *Nat. Clim. Change* 4, 17–22.

USAID, United States Agency for International Development (2010) Black carbon emission in Asia: sources, impacts, and abatement opportunities, <<http://usaid.eco-asia.org/programs/cdcp/reports/summary-black-carbon-emissions-in-asia.pdf>>, accessed on 27/07/10.

Utry, N. (2015) A légköri aeroszol inherens és látszólagos abszorpciós jellemzőinek és az abszorpciós spektrum jelentéstartalmának fotoakusztikus vizsgálata. PhD értekezés. Környezettudományi Doktori Iskola, Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék, Szegedi Tudományegyetem, Természettudományi és Informatikai Kar. Szeged.

Vaccari F. P., Baronti S., Lugato E., Genesio L., Castaldi S., Fornasier F., Miglietta F. (2011) Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat *Eur. J. Agron.* 34 231–8.

Varga-Haszonits, Z. (1998) *Agrometeorológiai gyakorlatok*. Második, bővített kiadás. PATE Mezőgazdaságtudományi Kar, Mosonmagyaróvár.

Varga Z. (2001) A meteorológiai tényezők hatása a kukorica termesztésére. Doktori (PhD) értekezés. Veszprémi Egyetem, Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar, Multidiszciplináris Agrártudományok Doktori Iskola, Veszprém.

Veisz, O., Harnos, N., Szunics, L., and Tischner, T. (1996) Overwintering of winter cereals in Hungary in the case of global warming. *Euphytica* 92, 249–253.

Viskari, E. L., Kossi, S. and Holopainen, J. K. (2000) Norway spruce and spruce shoot aphid as indicators of traffic pollution. *Environ. Pollut.* 107: 305.

Wardle, D. A., Nilsson, M. C., Zackrisson, O. (2008) Fire-Derived Charcoal Causes Loss of Forest Humus. *Science*, Vol. 320 No. 5876 p. 629 DOI: 10.1126/science.1154960.

Whitby, K. T. (1978) The physical characteristics of sulfur aerosol. *Atmospheric Environment* 12, 135-159.

Woodcock, A. H. (1953) Salt nuclei in marine air as a function of altitude and wind force. *Journal of Meteorology* 10, 362-371.

Wu, W.-Y., Lan, C.-W., Lo, M.-H., Reager, J. T., Famiglietti, J. S. (2015) Increases in the annual range of soil water storage at northern middle and high latitudes under global warming. *Geophys. Res. Lett.* 42, 3903–3910.

WHO: World health statistics (2013) World Health Organization. ISBN 978 92 4 156458 8

Yaqub, M., Akhtar, R., Muhammad, U., Bibi, S., Talimand, H., Aslam, M. M., Khan, P., Shakir, S. K. (2015) Effects of Road Side Pollution on Vegetation – A Mini-Review, *Journal of Bio-Molecular Sciences (JBMS)*, ISSN: 2311-4630, 3: 97-106.

Yuan, J.H., Xu, R.K., (2011) The amelioration effects of low temperature biochar generated from nine crop residues on an acidic Ultisol. *Soil Use and Management* 27, 110-115.

Zhan C., Cao J., Han Y., Hung S., Tu X., Wang P., A Zhis-heng (2012) Spatial distributions and sequestrations of organic carbon and black carbon in soils from the Chinese loess plateau. *Sci Total Environ.* 465:255-266.

Zhang, M., Wang, X., Chen, J., Cheng, T., Wang, T., Yang, X., Gong, Y., Geng, F., Chen, C. (2010) Physical characterization of aerosol particles during the Chinese New Year's firework events. *Atmospheric Environment*, 44, 5191-5198.

### **FELHASZNÁLT INTERNETES FORRÁSOK:**

[www.ksh.hu](http://www.ksh.hu)

[www.nimbus.elte.hu/oktatasi\\_anyagok/levegokemia/12\\_A\\_legkori\\_aeroszol.pdf](http://www.nimbus.elte.hu/oktatasi_anyagok/levegokemia/12_A_legkori_aeroszol.pdf)

Deutscher Wetterdienst. Wetter und Klima aus einer Hand: [www.dwd.de/EN/research/observing\\_atmosphere/composition\\_atmosphere/aerosol/cont\\_nav/particle\\_size\\_distribution.html?nn=503206#doc503444bodyText1](http://www.dwd.de/EN/research/observing_atmosphere/composition_atmosphere/aerosol/cont_nav/particle_size_distribution.html?nn=503206#doc503444bodyText1)

### **FELHASZNÁLT IRÁNYELVEK, RENDELETEK**

AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS 2008/50/EK IRÁNYELVE (2008. május 21.) a környezeti levegő minőségéről és a Tisztább levegőt Európának elnevezésű programról

4/2011. (I. 14.) VM rendelet a levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről

2011/850/EU: A Bizottság végrehajtási határozata ( 2011. december 12. ) a 2004/107/EK és a 2008/50/EK európai parlamenti és tanácsi irányelvre vonatkozó szabályoknak a környezeti levegő minőségére vonatkozó kölcsönös információcsere és jelentéstétel tekintetében történő megállapításáról (az értesítés a C(2011) 9068. számú dokumentummal történt)

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném megköszönni a disszertáció elkészítésében nyújtott szakmai segítségét témavezetőmnek *Dr. Anda Angéla* egyetemi tanárnak. Köszönöm a Pannon Egyetem Georgikon Karának Meteorológia és Vízgazdálkodás Tanszék minden dolgozójának (*Farsang Sándornénak* és leginkább *Soós Gábornak*) a munkám során nyújtott segítséget.

És nem utolsó sorban köszönöm *a családomnak* a támogatást.

Keszthely, 2018. augusztus 29.

Sárfiné Illés Bernadett