

## A harmat képződése kukoricaállományokban

RÁCZ CSABA-SZÁSZ GÁBOR

Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma  
Agrometeorológiai Observatórium, Debrecen

### Összefoglalás

A köztudatban a harmat gyakran csak igen csekély jelentőségű meteorológiai jelenségként szerepel, noha évi több tíz milliméternyi mennyisége sem a meteorológia, sem pedig a mezőgazdaság szempontjából nem elhanyagolható. Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy a harmatnak nem elsősorban az időszaki összege, hanem előfordulási gyakorisága, illetve a tartama bír gyakorlati jelentőséggel a növénytermesztés számára. A külföldi és a hazai szakirodalomban azonban meglehetősen kevés, a harmat képződésének folyamatával, tartamával, illetve az egyes növényállományok architektúrájából adódó sajátosságaival foglalkozó tanulmány.

E munka speciálisan a kukoricaállományokra jellemző mikrometeorológiai viszonyok között végbemenő párolgási és lecsapódási folyamatokkal foglalkozik. Részletes mikroklíma mérésekre támaszkodva meghatározásra került a képződő harmatmennyiség, illetve a képződési folyamat tartamának hossza, intenzitásának nagysága eltérő időjárási helyzetekben. Szintén nagy hangsúlyt kapott a kondenzációs folyamatokkal kapcsolatos alapvető fizikai jelenségek, törvényszerűségek részletezése, valamint az állományszerkezet és a mikroklíma összefüggéseinek bővebb ismertetése a főbb mért paraméterek tükrében.

**Kulcsszavak:** harmat, mikroklíma, kukorica

## Dew formation in maize populations

CS. RÁCZ-G. SZÁSZ

University of Debrecen, Centre for Agricultural and Applied Economic Sciences,  
Agrometeorological Observatory, Debrecen

### Summary

In common knowledge, dew often has only a rather low meteorological importance, whereas its several ten millimeters per year cannot be neglected either from the meteorological or the agricultural point of view. At the same time, it has to be noted that it is not the periodical amount of dew, but its frequency of occurrence and duration that has practical importance for crop production. Nevertheless, there are rather few Hungarian and international studies dealing with the process and duration of dew formation, as well as the characteristics originating from the architecture of each crop populations.

This study deals with the evaporation and condensing processes going on under the micrometeorological conditions especially characteristic of maize populations. Based on detailed microclimatic measurements, we determined the amount of dew formed, the duration of the formation process and its intensity in different weather situations. At the same time, the detailing of basic physical phenomena and principles concerning condensation processes were also emphasised, as well as the more extended description of the connections between population structure and microclimate from the aspect of the main measured parameters.

**Key words:** dew, microclimate, maize

### Bevezetés

A kukorica klimatikus viszonyainkhoz képest mérsékelt vízigényű növény, amelynek csaknem teljes hányadát a termőhely klimatikus sajátosságai szerint elsősorban a csapadék biztosítja. Szárazságra hajló éghajlatunk jellegzetességét figyelembe véve érdeklődésre tarthat számot az állományokban kialakuló ún. mikroszapadék – a harmat – hasznossága, amely a tartós szárazságok alatti víz-stressz-helyzetek súlyos következményeit mérsékli. A harmat nem elsősorban

mennyisége, hanem gyakorisága alapján minősül hasznos környezeti tényezőnek. Hatása Európa főként kontinentális és mediterrán éghajlatú mezőgazdasági területein egyértelműen kedvezőnek ítéltető. Mivel mennyiségi mérhetősége egyelőre még ma sem tekinthető megoldottnak, ezért inkább hatásának kedvező következményei alapján szokás megítélni. Keletkezése és mennyiségének alakulása már az 1800-as években vizsgálat tárgyát képezte, azonban a szélesebb körű kutatás csak az 1900-as évek első évtizedeiben indult meg (*Aitken* 1886, *Kravkov* 1899, *Godden* 1913, *Hiltner* 1931, *Leick* 1934, *Steiner és Fleischmann* 1936, *Duvdevani* 1947, *Long* 1955). Ezen időszakban főként a mérési eljárásokkal történő mennyiségi megállapítás képezte a vizsgálatok irányát. A múlt század közepső évtizedeiben indult meg olyan részletes fizikai elvekre épülő számítási módszerek kidolgozása, amelyeknek célja a harmatképződés fizikai feltételeinek és a képződő mennyiségnek a meghatározása. Napjainkban már rendelkezésre állnak azok a számítási modellek, amelyek a képződési folyamat időbeli változását igen sokrétű mikrometeorológiai vizsgálatok alapján megbízható módon írják le (*Hofmann* 1955, *Monteith* 1963, *Jones* 1983), ugyanakkor a harmat az a meteorológiai elem, amelynek reprezentatív jellegű, általánosan elterjedt mérőeszköz-rendszere ma még nincs. Ennek megfelelően a harmatképződéssel kapcsolatos vizsgálatok ma is túlnyomórészt szimulációs, illetve modellezési eljárásokra támaszkodnak, a kiegészítő mérési próbálkozások mellett (*Graf et al.* 2004, *Jacobs et al.* 2005, *Kabela et al.* 2009). A hazai alföldi, túlnyomórészt kontinentális éghajlatú területeken képződő harmat mennyiségéről és annak időbeli, évszaktól és napszaktól függően változó nagyságáról kevés hiteles megfigyelési anyaggal rendelkezünk, noha ennek fontossága napjainkban sem vitatott kérdés. E célból foglalják össze az alábbiak az arra vonatkozó vizsgálatok eredményeit.

### Vizsgálati anyag és módszer

A harmatképződés az Alföld csapadékszegény, gyakran erős éjszakai lehűléssel járó szélsőséges területein elősegíti a kukorica zavartalan fejlődését. Bár a rendszeres fitometriai és klimatológiai megfigyelések a harmatra nem terjednek ki, azonban célzott mikrometeorológiai mérések eredményeire támaszkodva, különböző fizikai törvényszerűségekre építve a képződő harmatmennyiség idő szerinti nagysága numerikusan jól becsülhető. E törvényszerűségekre az energiamérleg elvére épülnek, melynek egyszerűbb változata:

$$R_n = G + H + \lambda E + \mu A$$

melyben  $R_n$ : a felszín sugárzási mérlege,  $G$ : a talaj által forgalmazott hő mennyisége,  $H$ : a levegő érzékelhető hőenergiája,  $\lambda E$ : a párolgásra fordított hőenergia,  $\mu A$  a biokémiai folyamatokra használt energiahányad. *A harmat a levegőben lévő vízgőz egy részének kondenzált terméke*, amelynek nagyságát egyrészt a levegőben lévő vízgőz mennyisége (mbar), másrészt a hőmérséklet ( $^{\circ}\text{C}$ ) határozza meg. A harmat fizikai értelemben véve halmazállapot-változás útján vízgőzből képződő cseppfolyós halmazállapotú víz, melynek kondenzációs hője  $2500 \times 10^3 \text{ J/kg}$ . E szerint 1 mm harmat képződésekor  $2,5 \text{ MJm}^{-2}$  energia szabadul fel (a párolgás energiát felhasználó, a kondenzáció pedig energiát felszabadító folyamat). Az energiamérleg átrendezésével,  $\mu A$  elhanyagolásával a kondenzáció során felszabaduló energia nagysága:

$$\lambda E = R_n - G - H$$

Az utóbbi összefüggés a harmatképződés energetikai egyenlőségét írja le, amely a számítások során tovább bővíthető a szélnek a kondenzációs folyamatokra gyakorolt hatásával. Az alább közölt eredmények meghatározására szolgáló munkaegyenletek és további összefüggések ismertetése a *Szász és Rácz* (2006) közleményben található.

A számítási vizsgálatok alapját szabadföldi mikrometeorológiai mérések eredményei képezték, amelyek nagy része a 2008–2009-es évek tenyészidőszakából származik. A mérések a *Debreceni Egyetem AGTC Agrometeorológiai Observatóriumában*, illetve annak szabadföldi kísérleteiben folytak.

A szabadföldi vizsgálatok részben gyepfelszín felett, részben pedig kukoricaállományokban folytak; az állomány jellemzése: tőszám 60 000, sorirány É–D; egyéb megfigyelések: rendszeres talajnedvesség-mérés, fenológia, fenometriai mérés.

A harmatképződés folyamata a vízgőz termodinamikájának törvényszerűségei segítségével nyomon követhető, s a *kondenzáció* és *párolgás* folyamatának intenzitása, és óránkénti mennyisége leírható. A munkaformulákat a már említett energiamérleg komponenseinek analitikus egyenletei képezték: Bowen-arány (*Rose* 1966) és energia-mérleg (*Monteith* 1963).

### Vizsgálati eredmények és azok értékelése

A vizsgálati eredmények megvitatása és a gyakorlati következtetések összefoglalása előtt célszerű bemutatni az egyes vizsgálati szakaszoknak az eredményét, amelyek a következtetések megalapozottságát biztosítják. Így hangsúlyozni kell, hogy *a harmat képződésének folyamata a napi meteorológiai ciklusnak egy olyan sajátos szakaszát képezi, amely alapjaiban nem különbözik a nappali párolgás alatti mikrometeorológiai eseményektől*. E kérdés felvetése kapcsán utalni kell arra, hogy az említettek ellenére az éjszakai folyamatok bizonyos határig a nappali előzmények következményei, így szükségszerűen vázolni kell a teljes megérthetőség céljából a növényzettől mentes területen, illetve a kukoricaállományban nappal lejátszódó energetikai folyamatokat, mivel azok határozzák meg a további éjszakai állapotváltozások főbb feltételeit. Kiegészítésként röviden szükséges bemutatni a szél hatását, ami sajátos aerodinamikai feltételeket alakít ki, többek között a kondenzációs folyamatok lehetőségére, az állományon kívüli és az állományban elhelyezkedő levegőtér keveredési feltételeire. E probléma az állományklíma viszonylag részletesebb ismertetésével közelíthető meg, melynek lényeges kérdéseit az alábbiak foglalják össze. *A harmat agroökológiai jelentőségéről alkotott ismeretek hézagosak*, de a növénytermesztés egyes területein igen jelentősek (pl. vízgazdálkodás, növényvédelem).

### A kukoricaállomány mikrometeorológiai jellemzése

A harmatképződés időbeli folyamatának érthető bemutatása szükségessé teszi a növényállomány főbb mikroklimatológiai ismeretét. Az alábbiak áttekintést biztosítanak a különböző fejlettségi állapotú állományokban kialakuló mikroklimatikus sajátosságáról.

Amikor a kukoricaállomány meteorológiai sajátosságait kívánjuk áttekinteni, elsősorban a sugárzási, illetve a levegő hőmérsékleti és a nedvességtartalom tér- és időbeli változásainak alakulására kell gondolni.

#### *Sugárzás*

A sugárzó energia kormányozó szerepet tölt be a mikroklimatikus tér csaknem minden időjárási paraméterének változásában, mivel annak elnyelése szabályozza a szenzibilis – érezhető – hő koncentrációját, a fotoszintézis intenzitá-

sát, a vízgőztartalom viszonylagos mennyiségének nagyságát, amely pedig meghatározza az állományon belüli tér vízforgalmának alakulását.

A kukorica tenyészidőszakának első szakaszában, a vegetatív periódusban az állomány felszínére jutó nettó sugárzási energia nagysága tavasz végén és nyár elején mintegy  $7,5-9 \text{ MJ m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$  érték közötti, amelynek egy részét az állomány és a talaj visszaveri, jelentős hányadát átengedi. 5–6 leveles állapotban ennek az energiának mintegy 60%-a jut le a talaj felszínére, alig felét pedig a növényzet levelei nyelik el. A virágzás ideje felé haladva a sugárzáselnyelés egyre intenzívebbé válik, s a virágzás időszakában az állomány aljára a globál-sugárzásnak mintegy 20%-a jut le, amennyiben a levélfelületi index (LAI) eléri, vagy meghaladja a 3,0 értéket. A vegetatív fejlődési időszakban ez az érték egy darabig állandósul, majd a levélzet elöregedésével, később egy részének elszáradásával az elnyelés mérséklődik.

Az elnyelt energia szolgál a fotoszintézis fenntartására (6% körüli), más része a növény hőmérsékletétől, valamint a levegő nedvességtartalmától függően az állomány kisugárzásának formájában veszendőbe megy, így végül az állomány által hasznosítható energia, az ún. *sugárzási energiamérleg* közelítően a nettó sugárzási energiának mintegy 50%-a, amely a evaporáció és a transzspiráció, a hőmérséklet emelkedése, valamint a légkör felé irányuló hőleadás fedezetéül szolgál. A harmatképződésben különösen fontos szerepet játszik az energiaveszteséges napszak, ekkor az állomány hőkészlete az effektív kisugárzás formájában éjszaka fokozatosan csökken. Nagyrészt az effektív kisugárzás szabályozza az állományban éjjel kialakuló hőmérsékletcsökkenés sebességét, amely a harmatképződés első szakaszának tekinthető. Az effektív kisugárzás intenzitása többnyire közel azonosnak tekinthető a mindenkori időjárási helyzetnek megfelelően, ugyanakkor függ a hőmérséklettől. Az állomány belső terében a késő éjszakai órákban az effektív kisugárzás intenzitása  $-10 \text{ kJ cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ , amennyiben a növényi hőmérséklet  $15,0-20,0 \text{ }^\circ\text{C}$  közötti. A kisugárzás útján veszített hőenergia a kifejlett állomány alján csak mérsékelt, mivel ott a lombzatban sugárzási egyensúly áll fenn, a magassággal ez az érték mérsékeltten növekszik, a legerőteljesebb kisugárzási energiaveszteség az állomány felső levélzónájában alakul ki. A kisugárzási veszteség határozza meg az állomány hőmérsékletcsökkenését, így érthető módon éjszaka a leghidegebb zóna az állományfelszín közelében bontakozik ki. Ezek a sugárzási folyamatok a harmatképződés legfontosabb tényezőinek tekinthetők.

### *Hőmérséklet*

A növényállományok hőmérsékletének alakulása általában ismert: a ritkább, viszonylag fiatal állományban *nappal a legmelegebb* légtér az állomány aljában alakul ki, vagyis az alsó levélzóna és a talajfelszín képezi az energiát elnyelő aktív felületet. Az állomány felső zónája a legintenzívebb nappali energiát felhasználó transzspirációt tartja fenn, ennek hőmérséklete közel azonos a környező levegőével. Alapvető változás akkor sem következik be, amikor a levélzet teljes kialakulása bekövetkezik, ugyanis a megnövekedett levél általi elnyelés mellett a legmelegebb réteg továbbra is az állomány talajfelszín közeli tere, míg a felsőbb rétegek a leghűvösebbek. Ez az általános kép azonban gyakran torzul, ugyanis a levélzet állásszögétől, sűrűségétől függően gyakran nem az állomány alsó tere, hanem *a középső zóna tartja vissza a legnagyobb hőenergiát*, s ott alakul ki a legmagasabb hőmérséklet, főként a délutáni időszakban. E tapasztalatok az állománysűrűség behatóbb tanulmányozása révén váltak ismertté (Brown és Covey 1966). *A nappali rétegződési profil éjszakára* csak abszolút értékeiben változik meg, az állomány alsó zónája ekkor is viszonylag meleg a felső hűvösebb réteghez képest. A levélfelület nagyságának, valamint a hőmérséklet napi átlagos szélső értékeinek függőleges menti eloszlását az *1. ábra a és d* része szemlélteti.

### *A levegő nedvességtartalma az állományban*

Az állomány belső tere a környezet rövid gyep feletti levegőjéhez mérten az egész nap tartama alatt magasabb nedvességtartalmat tart vissza. Annak ellenére, hogy az állomány légterében lévő vízgőz koncentrációja rendkívül fontos szerepet tölt be a növényi életfolyamatok – a vízforgalom – alakulásában, e helyen csupán olyan tényezőként tekinthető, amely alapvetően meghatározza az effektív kisugárzásnak az értékét. Mivel a vízgőz a hosszú hullámú hősugárzással szemben visszatartó anyagként szabályozza az energetikai folyamatot, így a párolgás, illetve a kondenzációs folyamatok intenzitását is. Elsősorban azt szükséges kiemelni, hogy minél nagyobb a vízgőztartalom ( $\text{kg/m}^3$ , vagy parciális nyomás, hPa, stb.), adott hőmérsékleten az effektív kisugárzás intenzitása annál kisebb. Így nyilvánvalóvá válik az a következtetés, hogy *a vízgőztartalom csökkenésével egyidejűleg az effektív kisugárzás erőteljesebbé válik*, amennyiben a hőmérséklet változatlan. Szigorúan szabályozza ez az összefüggés a harmatképződés feltételeit, ugyanis az állomány viszonylagosan nagy vízgőztartalma változatlan hőmérséklet esetén csökkenti a harmatkép-



ződés lehetőségét, azonban ha a hőmérsékletcsökkenés erőteljessé válik, a kondenzáció megindulásával a képződött harmatmennyiség növekszik. Ennek elsődleges oka, hogy a hőmérséklet emelkedésével a levegő maximális vízgőzbe-fogadó képessége exponenciálisan növekszik. E törvények figyelembevételével válhat lehetővé a harmatképződés feltételének és mennyiségének numerikus meghatározása. Ezeket az összefüggéseket magyarázza az 1. ábra b, c, e, és f része, amelyen az állománybeli kora délutáni és hajnali párányomás, illetve relatív nedvesség profil látható. Szembetűnő a relatív nedvességtartalom éjszakai növekedése.

1. ábra. A hőmérséklet, relatív nedvesség és a párányomás függőleges menti eloszlása a hajnali és a délutáni órákban, kukoricaállományban (LAI=2,4) (Debrecen-Kismacs, 2009. augusztus 13–14.)

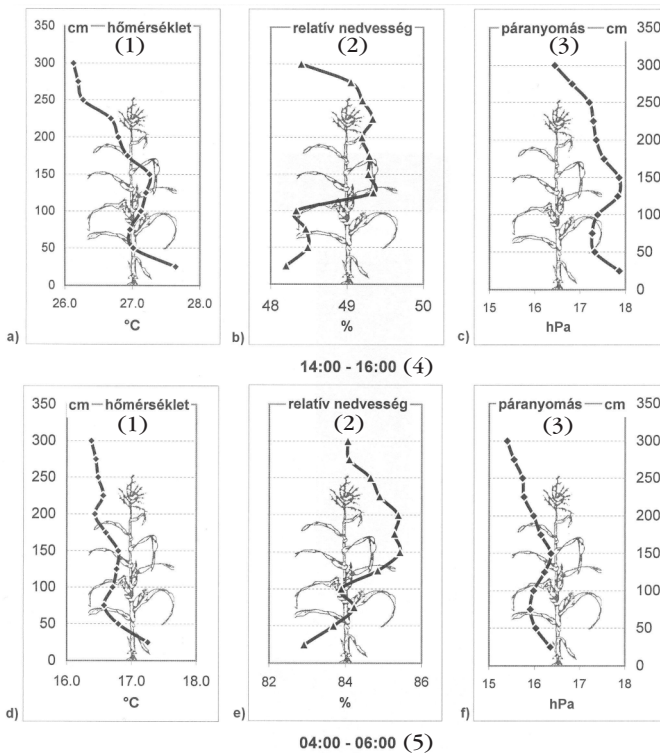


Figure 1. Vertical distribution of temperature, relative humidity and vapour pressure at dawn and in the afternoon in maize (LAI=2.4) (Debrecen-Kismacs, 13<sup>th</sup>-14<sup>th</sup> August 2009). (1) Temperature, (2) Relative humidity, (3) Vapour pressure, (4) 2:00–4:00 p.m. (5) 4:00–6:00 a.m.



### *Légmozgás, szél*

A talajfelszín feletti növényállomány belső felületének növekedése a szél sebességét a sűrűlódás következtében csökkenti, amelynek következménye a mozgás örvényességének mérséklése. Az utóbbi a különböző hőmérsékletű és nedvességű levegő keveredését lelassítja, az állomány kevésbé szellőzik. A nappali transzspiráció folytán a levegő belső terében a vízgőz mennyisége gyarapodik, melynek egy részét a szél elszállítja, más része pedig a hőmérséklet csökkenése révén harmat formájában kicsapódik. Emiatt a szélesebbesség növekedése a harmatképződés egyik akadályozó tényezőjének tekinthető. Ennek az állításnak az érvényessége közvetlenül mérhető, pl. ha a délutáni szélesebbesség  $2,0 \text{ ms}^{-1}$  körüli, úgy a sűrűlódás következtében a növényállomány aljában csak  $0,2-0,4 \text{ ms}^{-1}$  szélesebbesség mérhető.

### **A harmat képződési folyamata és mennyisége**

A szántóföldi növénytermesztés különböző ágazataiban a harmatnak jelentős fontosságot kell tulajdonítanunk: pl. a vízgazdálkodás, valamint a növénykórtan szakterületei az ez irányú információkat jól hasznosíthatják, esetenként számukra nélkülözhetetlenek tekinthetők. A harmatképződés az időjárás napi ciklusának jellegzetes eseményszakasza. A harmat fizikai értelemben a víz körforgalmának egyik olyan fázisát képezi, amelynek keretében a levegőben lévő vízgőz a növény- és talajfelszínre csapódik ki a hőmérséklet csökkenése következtében. E folyamat részleteitől eltekintve meg kell említeni, hogy bár a halmazállapot-változást elszennvedő vízmennyiség egy napra eső mennyisége nem nagy -  $1 \text{ mm vízoszlopmagasság} = 10\,000 \text{ l/ha} = 10 \text{ m}^3/\text{ha}$  -, azonban e kis vízmennyiségnek a növényfelületre eső mennyisége olykor a tartós szárazság elviselésének lehetőségét jelenti.

A harmat képződése lényegét tekintve *a levegőben lévő vízgőznek a lehűlés folytán valamely felületen bekövetkező lecsapódása, kondenzációja*, amely képződése után rendszerint elpárolog, s ezáltal a napi párolgás nagyságát gyarapítja. Hangsúlyozni kell, hogy a harmat a levél felületéről elpárolog, mivel a levélzet bőrszövetén keresztül *a levél belső szöveteibe nem juthat be*. A harmat képződésének legfontosabb tényezője *a levélzet sugárzási energiájának az elnyelése*, amely nappal zajlik, *éjszaka* pedig a kondenzáció megindítója, amely a növényi szervnek a kisugárzás útján történő lehűlését váltja ki. A sugárzási körforgalom kialakítása jelentős energiát igényel; a párolgást fenn-

tartó energia nagysága: 2,5 MJ/kg, a kondenzáció során felszabaduló energia: 2,5 MJ cm<sup>-2</sup> mm<sup>-1</sup>, ami a környezet melegítését szolgálja. E körforgalom sebességének alakulásában fontos szerepet tölt be a szél, mivel a szélsébség mind a párolgás, mind a kondenzáció intenzitását befolyásolja. A hőmérséklet napi ciklusa szabályozza a levegő vízgőzkészletét, a párányomás a magas hőmérsékletű napszakban éri el a legnagyobb értéket, míg a hőmérsékleti minimum idején a legkisebb. A hőmérsékleti hatás a telítettségi hiány értékével fejezhető ki, amely a telítettségi párányomás és a tényleges párányomás közötti különbség.

A harmat képződése általában a késő esti órákban indul meg, amikor a felszín sugárzási energia-bevétele megszűnik, így a hőmérséklet további szabályozója a növény, illetve a talaj effektív kisugárzása. Azokban az órákban, amikor energia-felvétel besugárzás útján megszűnt és ezt követően csak az effektív kisugárzás szabályozza a hőmérséklet csökkenésének a mértékét, a vízgőz telítettsége a hőmérséklet szerinti határértékhez közelivé válik, majd azt elérve megindul a kondenzáció. Azt a hőmérsékleti értéket, amelynél a levegőben lévő vízgőz telítetté válik, harmatpontnak nevezzük. A levegő hőmérséklete és a harmatponti hőmérséklet-különbség az ún. harmatpont depresszió ( $\tau$ ). A harmatképződés bekövetkezése idején a felszabaduló hő a levegőbe jutva a hőmérsékletcsökkenést lelassítja. Amennyiben a kicsapódás hosszú időtartamú, vagy intenzív, úgy a hőmérsékletnek a csökkenése meg is szűnhet. Az utóbbiak esetében a vízgőz kondenzációs energiája a levegő melegedését váltja ki, ez pedig a hőmérséklet további csökkenésnek az akadályozójává válhat.

A fentiekből világosan kiderül, hogy a harmatképződés olyan összetett energetikai folyamat, amelynek kezdetét, tartamát és végül mennyiségét annak a felszínnek a tulajdonsága szabályozza, amelyen a kondenzációs folyamat lejátszódik. Elsősorban a talaj- és növényfelszín hatására kell gondolni, természetesen figyelembe véve azt, hogy e hatás mindenkor az adott időjárási helyzet alá rendelt folyamat. Az alábbiakban e gondolatoknak a figyelembevételével foglalhatók össze a harmatképződés feltételei, tehát tulajdonképpen a légkör és a felszín közötti kölcsönhatások jellemzése lehet a legfontosabb cél. Mivel ez a folyamat rendkívül összetett, ezért az alábbiakban csupán a legfontosabb hatásoknak és válaszoknak a jellemzése a cél.

A harmat – más néven a mikrocsapadéknak, vagy talajmenti csapadéknak egy formája – a talaj- és a növényfelszín elsődleges légköri határrétegében képződik a helyi feltételektől függően. A gyakorlati életben *mm* egységben szokás kifejezni, amely természetesen a valóságban a növényen nem összefüggő

vízfelület, hanem rendszerint cseppformákban ismerhető fel, a talajon annak higroszkópos voltából adódóan átnedvesedés formájában jelenik meg. A folyamat intenzitása rendkívül lassú, a mérések és számítások szerint 1 óra alatt képződő mennyisége maximálisan néhány tizedmilliméter lehet. Mint a későbbiek is bizonyítják, csak olyan sajátos meteorológiai helyzetben alakul ki éjszaka, amikor a harmatponti hőmérséklet a délután mért hőmérsékleti értékhez mérten nyáron mintegy 5–6 °C-kal alacsonyabb. A havonkénti harmatos napok száma tavasszal és nyár végén éri el a maximumot, tavasszal a magas légnedvesség-tartalom, nyár végén pedig a száraz talaj gyors lehűlése indítja és tartja fenn több órán keresztül a képződés folyamatát. Vizsgálataink szerint a légköri nedvességből származó harmatmennyiség évi 30–40 mm-re tehető hazánkban, melyből a májusi és az augusztusi napokban képződött mennyiség biztosítja ennek tekintélyes hányadát. A harmatképződés gyakoriságának évi ritmusát a különböző éghajlati elemek ciklikus változása, valamint a talaj és a növény felszínének módosító hatásai szabályozzák. Főként az utóbbi tényezők hatását tételes formában foglaljuk össze, figyelembe véve a címben szereplő növény sajátosságát.

- A kukoricaállományban képződő harmatmennyiség az állománynak a felső levélzónájában alakul ki az erőteljes kisugárzás következtében. Az állomány belső zónájának alsó rétegeiben a harmatképződés ritkán indul meg, tekintettel arra, hogy a levélzet belső terében hőmérsékleti egyensúly áll fenn, s így a lehűlés csak az esetleges szél hatására indulhat meg. Ebből kifolyólag belátható, hogy a levélfelületi index az állománynak e tekintetben is fontos paramétere, mivel az állománysűrűség, illetőleg a levélzet erőteljes kifejlődése következtében a harmatképződés felső zónája az állomány sekélyebb rétegeire korlátozódik. A mélyebb zónában és a talajfelszínen a harmatképződés csaknem elhanyagolhatóan csekély. Tehát addig, míg a felső zónában a nappali transzspiráció erőteljes, ott az éjszakai harmatképződés a vízvesztéséget némileg ellensúlyozhatja. Ez a kép a kifejlett állományra jellegzetes, a fiatal, 4–6 leveles állapotban a harmat mennyisége a kis levélfelület folytán a teljes harmatmennyiséghez mérten lényegesen csekélyebb, az arány közel 50%-ra tehető talajtípustól függően.
- A növény levélzetének abaxiális levéllemezén képződött harmat nagy hányada elpárolog, más része pedig a talaj felszínére jut. A szár felőli adaxiális levéllemezről a harmatcseppek a levélhüvelyben gyűlnek össze a levéllemez sajátos (plagiofil) alakja következtében. E vízmennyiség később a

mély levélhüvelyből a belső szövetekbe diffundál. Ennek rendszeres bekövetkezése a növény számára naponkénti vízpótlást jelenthet. Az állomány levélzetén képződött harmatmennyiség a rövid gyeptakarón mért harmat-tömeghez képest 5–35%-kal növelheti a kicsapódott vízmennyiséget. Ez az arányszám természetesen a levélfelület növekedésével folyamatosan nő és a virágzást követő időszak után az éjszakai lehűléstől függően csaknem a kétszeresére növekedhet. Mindebből arra a következtetésre lehet jutni, hogy az állomány sűrűségének növekedésével, az 1 m<sup>2</sup> felszínre eső tőszám emelésével a harmatból származó vízfelvétel lehetősége fokozódik. Természetesen ez a megállapítás csak bizonyos értékig tekinthető elfogadhatónak, ha a LAI meghaladja a 3,5–4,0 értéket, a levélzet energiavesztesége már tovább nem csökken a levelek átfedése folytán, és a harmatképződés zónája is elvékonyodik, tehát a harmatképződés fokozódása ilyen értelemben már nem bizonyítható.

- A harmat éjszakánkénti mennyiségét a lehűlés mértékén túlmenően a képződés folyamatának időtartama döntően szabályozza. Általában a harmatképződés éjszaka 4–6 óránál alig hosszabb, ugyanis a kondenzáció folyamata során a növény levélzetének hőkészlete egyre csökken, így a kisugárzás intenzitása is csak kisebb ütemben mérséklődik, és viszonylag rövid idő után környezetével hőmérsékleti egyensúlyba jut, vagyis a kisugárzási veszteség közelíti a lehetséges minimális értéket. Minél nagyobb a képződött harmatmennyiség, az állomány belső terének hőmérséklete annál lassabban hűl le, ugyanis a felszabaduló hő a levegő hőmérsékletcsökkenését ellensúlyozza. Meg kell említeni, hogy a lehülési sebesség értéke számszerűen meghatározható, azonban ennek részleteire e helyen nem térünk ki.
- A mikrometeorológiai szabályozó tényezők sorában szükséges megemlíteni a szélesebb harmatszabályozó hatását. Az állomány sűrűsége, illetve a levélfelület nagysága, valamint a levéllemez hajlásszöge alapvetően meghatározza a szélesebbnek az állományon belüli alakulását. A levélfelületi index, valamint az állományba belépő szél sebességének csökkenése között logaritmikus összefüggés áll fenn, vagyis a levélfelület természetes logaritmusának nagyságától függően az állomány mélységének a növekedésével a szélesebb csökken. A sebességcsökkenés az örvényes mozgást lefékezi, ezáltal a levegő térbeli hőmérsékleti és nedvességbeli különbségét mérsékli, illetve annak szállítóképességét fokozza, vagyis mindezt

összegezve a szélesebbesség növekedése a harmatképződés feltételeit csökkenti. E csökkenés mértéke jól követhető és modellezhető az állományszerkezet az ún. architektúra paramétereinek értékei alapján (Szász 1972).

- A mikrometeorológiai folyamatoktól függetlenül a kondenzáció nagyságát közvetlen és nagymértékben meghatározza a folyamatokhoz rendelkezésre álló felület nagysága és minősége (Beysens 1995). Hasonlóképpen, a növények levélzetén képződött harmatmennyiség nagyságát jelentősen módosíthatja a levélfelszín érdessége, mivel a különböző növényfajok levélzetének eltérő a szöveti felépítése, másrészt a felszínen kialakuló mikromorfológiai képletek – pl. levélszőrök stb. – módosítják a visszatartott víz nagyságát. Amennyiben ez a hatás erőteljes, abban az esetben a talajra lejutó víz mennyiségét, illetve a növényállomány csapadékot visszatartó képességét nem elhanyagolható mértékben gyarapítja. Ez a képesség százalékos arányban kifejezhető, bár ismerete legtöbb esetben csak becslő jellegű információt biztosít. A kukorica levélzetén kialakult párhuzamos lefutású vízállító szöveti szerkezet jelentősen növeli az ab- és adaxiális levéllemezekén kialakuló lefolyás feltételeit. Számos növény felületén a fejlődés folyamán vékony, nagy viasztartalmú bevonat képződik, mely hidrofób tulajdonsága révén akadályozza a kondenzált víz helyben maradását. Az apró vízcseppek a szélhatásra keletkező mozgás következtében a levelekről lehull a talajra, így azon vízréteg nem képződik.
- A kukoricaállományok levélzetén képződő harmatmennyiség nagyságát a talaj hőgazdálkodási tulajdonságai közvetett módon szabályozzák. A laza szerkezetű, nagy hézagterefogatú, kis víztartó-képességgel rendelkező talajok hőkapacitása viszonylag alacsony, átlagos nedvességtartalom esetén  $1,5 \text{ MJ m}^{-3} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$  értékkel számolhatunk, a nagy nedvességtartalmú agyagtalajoknál ez az érték  $2,3 \text{ MJ cm}^{-3} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$ . A laza, kis hőkapacitású talajok éjszakai hőmérséklete alacsony, csekély energiamegtartó-képességük folytán, s így a kezdeti gyors effektív kisugárzás folytán energiájukat veszítve a felettük elhelyezkedő levegőréteg lehűlése nagyfokú, és ez a kicsapódás sebességét fokozza (Jacobs *et al.* 1999). Agyagtalajoknál ez az összefüggés fordított értelemben módosul, rövid időtartam alatt csak lassan hűlnek, illetve lassan melegednek, tehát a hőmérséklettel szembeni érzékenységük csekély. Értelemszerűen a nedves, kötöttebb, hűvösebb talajok feletti hőtani feltételek kedvezőtlené válnak, viszont hangsúlyozni kell, hogy a laza talajok, bár gyorsan hűlnek, kis nedvességtartalmuk miatt a felettük lévő

légtér hőmérséklete hamar eléri a harmatpontot. Vályogtalajok esetében az éjszakai lehűlés mérsékeltőbb volta és a nagy nedvességtartalmú levegő ritkábban közelíti meg a vízgőz telítettségi állapotát, illetve a hőmérséklet a harmatponti értéket.

- *A képződött harmat mennyiségi* értékelésének kérdésével kissé részletesebben kívánatos foglalkozni, tekintettel arra, hogy a hazai agrometeorológiai, illetve agroökológiai vizsgálatok csupán empirikus adatokat közöltek, amelyeket tulajdonképpen mérés útján állapítottak meg. A harmat mérése egykor sajátos ún. harmat-mérlegnek a segítségével történt, amely mutatta, vagy regisztrálta egy sajátosan kialakított lap tömegének a változását. A harmatfelfogó-lapok igen különbözőek voltak, részben különböző vastagságú porózus gipszlapok és keretre kifeszített lószőrből készült szita (Steiner és Fleischman 1936), más esetben nedvszívó, de minden esetben azonos felületű fából készült felfogó falemez tette lehetővé a reá kicsapódó víz mennyiségének mérhetőségét. Mindezek a mérések kétségtelenül hasznosak voltak, azonban a felfogó-lap fizikai tulajdonságának különbözőségéből adódóan a kicsapódott vízmennyiség jelentősen különbözött. Ennek következtében a mérési eredmények, bár azonos felfogó-lap esetében értékesek voltak, azonban a különböző helyekről származó adatok nem biztosították a reális összehasonlítás lehetőségét. Ez a hibaforrás elsősorban abból származott, hogy a növény levélzetének hőtani tulajdonságai jelentősen különböztek a mesterségesen előállított felfogó-lapokétól. Emiatt vált szükségessé egy olyan modell kidolgozása, amelynek segítségével jól becsülhető a növényfelszín kisugárzása által bekövetkezett lehűlés mértéke és az esetlegesen kicsapódott vízmennyiség felületegységre eső nagyságának meghatározása. Ezekre az elvekre épültek az energiamérleg, illetve az aerodinamikai becslő eljárások. A nyílt modellek kidolgozása lehetővé tette a potenciális harmatmennyiség képződésének számszerűsítését, amely a különböző éghajlatú területeken természetesen különbözik. Vizsgálataink esetében – amennyiben a kondenzációt semmi sem akadályozza – a hazai klimatikus szélsőségeket figyelembe véve a képződhető harmat mennyisége  $0,2 \text{ kg m}^{-2}$ , illetve értékét átszámítva vízborítása:  $0,2 \text{ mm}$ . Gyakorlati hasznosíthatóság szempontjából célszerű megemlíteni, hogy főként ősszel és tavasszal, amikor a hőmérséklet napi ingásának alsó értéke megközelíti a levegő nedvességtartalmától függő harmatpontot, úgy a harmatpont alatti hőmérséklet tartama határozza meg annak



mennyiségét. Erős lehűlések esetén nem tartozik a ritkaságok közé, hogy már az esti harmatképződés megindul és csak napkelte után fejeződik be. A 2a. ábra szemlélteti különböző napok adatai alapján számított óránkénti párolgás és harmatmennyiséget, amelyből következtethetünk a lehetséges intenzitására, melynek nagysága általában legfeljebb 0,15 mm/óra körüli. Ha figyelembe vesszük a levélfelület nagyságát, valamint a képződés időtartamát, abban az esetben az állomány felső rétegeiben képződő harmat összességében meghaladhatja az 1 mm, illetve 1,0–1,5 mm értéket, amely már a nappali párolgási vízveszteséghez mérten is jelentős marad, bár azt nem éri el. A 2b. ábrán az akkumuláció intenzitásának alakulása is jól követhető. A harmatpont alá történő hőmérsékletcsökkenés bekövetkezésével a kondenzáció lassan megindul, majd az erőteljesebb csökkenés a képződés intenzitását fokozza. A késő hajnali órákra a képződés üteme ismét lelassul, mivel a kondenzáció során felszabaduló hő a hőmérsékletcsökkenést ellensúlyozza, amelynek eredménye a harmatképződés lelassulása, illetve befejeződése. Hangsúlyozni kell, hogy ezekben a folyamatokban igen fontos szerepet játszik az állomány sűrűsége, annak magassága, továbbá az állománytérben elhelyezkedő biomassza téraránya\*: 1:0,002; amely természetesen az állományban változik az anyageloszlás különbözősége folytán. Ez a levegő nyeli el tulajdonképpen a levélzet által kisugárzott energiának a nagy részét és ez válik az állomány belső terének hőszabályozójává.

Mindezekből kitűnik az a törvényszerűség, hogy a képződhető harmat mennyisége, illetve a harmatképződés feltételeinek bekövetkezése becsülhető. A becslés arra a fizikai törvényre épül, hogy a harmatpont értéke gyakorlatilag a nap folyamán alig változik, amennyiben valamilyen gyorsan lezajló légcserre nem következik be.

A harmatpont értéke a relatív nedvesség nappal mért értékéből és az egyidejűleg megállapított hőmérséklet alapján megállapítható annak a nomogramnak a segítségével, amelyet a 3a. ábra mutat be. Ezen áttekintve megállapítható, hogy a hőmérséklet csökkenésével a relatív nedvességtartalom növekszik, mivel a telítettség mértéke mindeközben állandó (ez a harmatponti szabály).

---

\*A biomassza téraránya az állománytér  $1\text{m}^3$ -ére jutó biomasszatömeg nagyságát fejezi ki.



2. ábra. A párolgás és harmatképződés napi menete, illetve a kondenzált vízmennyiség kumulált óraértékei különböző napokon (Debrecen-Kismacs, 2009)

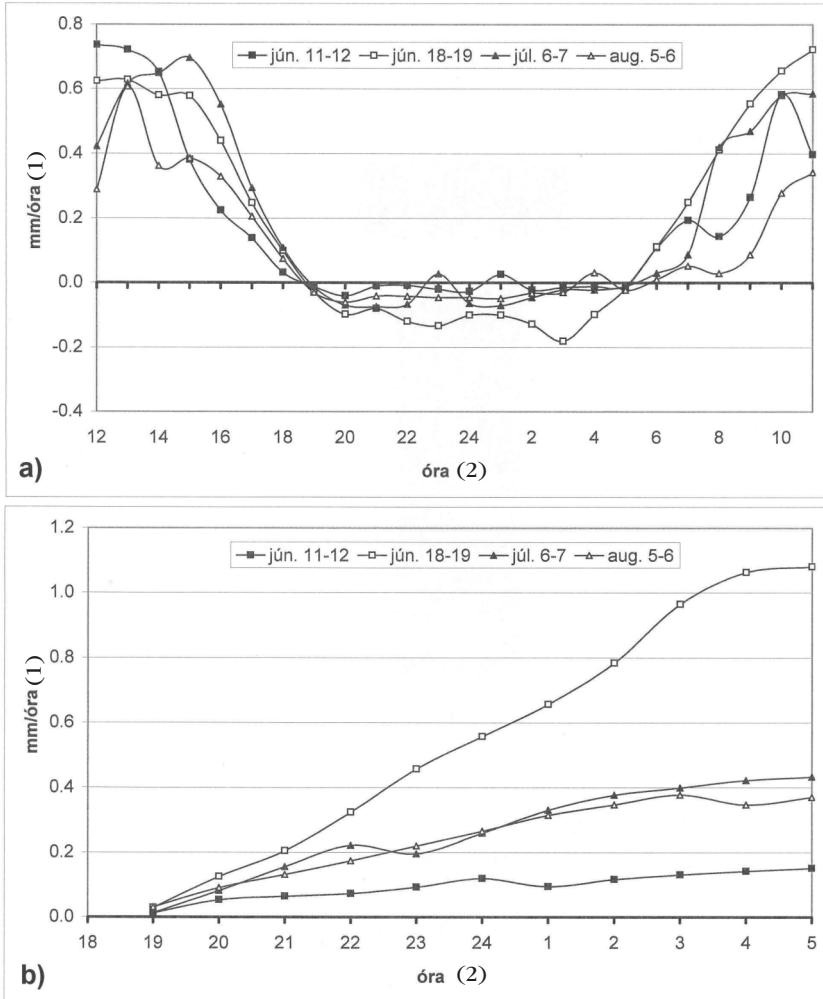


Figure 2. Daily process of evaporation and dew formation and the cumulated hour values of condensed amount of water on different days (Debrecen-Kismacs, 2009). (1) mm hour<sup>-1</sup>, (2) hour.

3. ábra. A harmatpont meghatározására szolgáló nomogram (a) és a telítési nedvességtartalom és hőmérséklet összefüggése (b)

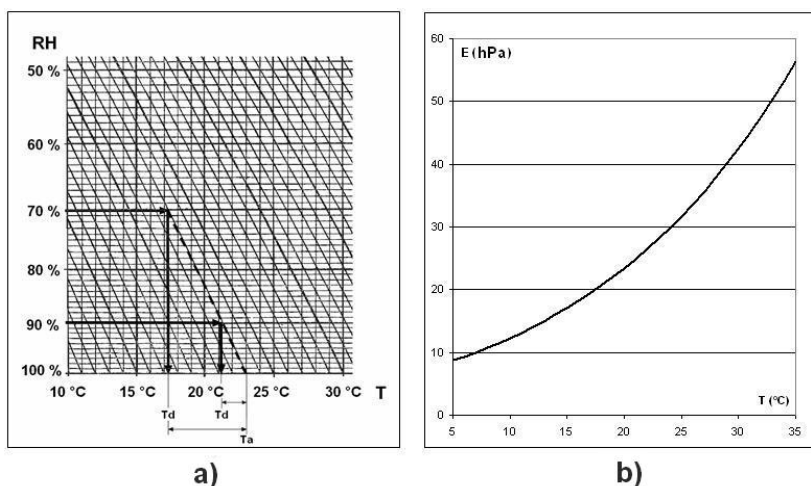


Figure 3. Nomogram serving the determination of the dew point (a) and the connection between the saturation moisture content and temperature (b).

Elkerülve a hosszadalmas számításokat, amennyiben a kora délutáni órákban a hőmérséklet és nedvesség mérése megtörténik, úgy ezek alapján a nomogram segítségével, a nyíllal, jelzett vastag vonallal húzott állapotváltozás alapján, a nomogramról leolvasható az a harmatponti hőmérséklet ( $T_d$ ), amelyet a lehűlésnek el kell érni a harmatképződés kezdetéig. Elfogadva e törvényszerűséget, világossá válik, hogy tavasszal és ősszel kell a legnagyobb mértékű harmatképződésre számítani, ugyanis a nyári hónapokban a hőmérsékleti minimum értéke gyakran a harmatponti hőmérséklet felett marad, vagyis éjszakára mindössze a relatív nedvesség értéke nő meg, harmat azonban nem keletkezik.

A hőmérséklet növekedésével a telítési párányomás exponenciálisan növekszik, vagyis minél magasabb a hőmérséklet, a benne lévő vízgőz lehetséges mennyisége annál nagyobb (*ld. 3b. ábra*). Ennek érvényessége alapján válik világossá, hogy magas hőmérsékleten azonos hőmérsékletcsökkenés nagyobb harmatmennyiséget vált ki, mint az alacsony hőmérsékletű tartományban bekövetkező csökkenés. Nyáron azért kevés a harmatos napok, vagy éjszakák száma, mert a legalacsonyabb hőmérséklet jelentősen a harmatpont felett marad, vagy kondenzáció nem következik be. Ősszel és tavasszal viszont

gyakrabban, mivel a folyamatosan alacsony napi hőmérsékletek tartományában az éjszakai minimumok rendre kisebbek a harmatponti értéknél ( $T_{\min} < T_d$ ).

A kukoricaállományokban képződött harmatmennyiséget a fentiekben túlmenően a levélfelület nagysága határozza meg. A különböző vizsgálatok szerint a levélfelületen képződő harmatmennyiség a LAI logaritmikus növekedésének arányában nő. Természetesen az ily módon számított mennyiség nem éri el a ténylegesen képződő mennyiséget, mivel – minthogy a korábbiakban már utalás történt arra – a mikroklimatikus tér heterogenitása folytán csak részben válik teljessé a harmatképződés feltétele. Külön ki kell emelni a legmagasabban elhelyezkedő leveleket, amelyek effektív kisugárzása, s ennek következtében a lehűlése során képződött mennyiség jól közelíti a valóságot, és a nagyságával arányos. Az állomány alsó enyhébb, illetve közvetlen a talaj közeli rétegében a képződés rövidebb időtartama csökkenti a harmat teljes összegét. Ez utóbbi jelenséget az váltja ki, hogy a levélzet és a talajfelszín között egyensúly közeli sugárzási helyzet alakul ki, vagyis a magasabban fekvő levegőrétteg a kisugárzási veszteség egy részét visszatartja. Ennek folytán az állomány alsó harmadában csak mérsékelt képződési folyamat alakulhat ki, amely a számított mennyiséghez mérten lényegesen csekélyebb.

Részben az ismertetett számítások, részben pedig a harmatos napok számából, illetve a harmatképződés óránkénti alakulásából következtetni lehetett annak a víznek a mennyiségére, amely a levélzet kialakulásától szeptember közepéig ténylegesen kialakult harmat vízmennyiségének tekinthető. *Elfogadva azt, hogy a harmatos napok átlagos száma 10 év átlagában 88 nap, a napi képződési időtartam 5 óra, továbbá a keletkezett óránkénti harmatmennyiség 0,08 mm, abban az esetben átlagosan 35 mm/tenyészidőszak harmatmennyiséggel lehet számolnunk. Utalva arra, hogy a harmat nagysága a levélfelülettől függ és figyelembe véve a levélfelület logaritmikus arányban kifejtett harmatnövelő hatását, a kukoricára vonatkoztatva a szorzásokat elvégezve, számszerűen az alábbi értékhez jutunk:  $88 \times 5 \times 0,08 = 35,2$  mm. Ez utóbbi érték az állomány nélküli felszínre vonatkozik. Amennyiben a LAI=3.0, akkor felírható a művelet rendje:*

tenyészidőszak alatti harmat (gyepszint):  $88 \times 5 \times 0,08 = 35,2$  mm,

tenyészidőszak alatti harmat (kukorica):  $35,2 \times (1 + e^{-0,4LAI}) = 35,2 \times 1,7 = 59,8$  mm.

Az utóbbi érték a természetben ennél alacsonyabb, tekintettel arra, hogy a levélen képződött abadáxiális harmatmennyiség elfolyik, így az egyenleg értéke

45,2 mm-re csökken, 14,6 mm pedig a talaj nedvességét gyarapítja. Az elmúlt években végzett harmatra vonatkozó kutatási vizsgálatok alapján becslési szinten rekonstruálható az a vízmennyiség, amely a légköri harmat formájában jut a növények tábláira. Mivel a vizsgálati mérések gyep felett és kukoricaállományokban egyidejűleg folytak, lehetővé vált a levélzet harmatmódosító szerepének meghatározása a gyep felszínéhez viszonyítva.

### Megállapítások, következtetések

A képződhető harmatmennyiség nagysága az állománysűrűséggel befolyásolható. A harmat kondenzációs folyamat terméke, amely közvetlenül nem mérhető, megbízható fizikai elvekre épülve számszerűen becsülhető. A hazai klimatikus adottságokat figyelembe véve a maximális harmatmennyiség 0,25 mm csapadékmennyiségben határozható meg. Képződése a kukorica tenyészidején belül májusban és augusztusban a legintenzívebb, amikor a harmatos éjszakák száma meghaladja a 20 napot. Az átlagos éjszakai képződés időtartama 4–8 órára tehető. Az átlagos képződési intenzitás 0,02–0,08 mm/óra. Az éjszakánkénti teljes mennyiség a levélfelület nagyságával arányos, kukorica kifejlett állapotában a gypszinthez viszonyítva mintegy 40%-kal növeli a harmatból származó vízmennyiséget, melynek egy részét a növényzet visszatartja, más része lejut a talajba. A tenyészidőszak alatti átlagos harmatmennyiség kifejlett állományokban mintegy 50 mm-re tehető, amely a növényi vízigényhez mérten jelentősnek minősíthető. A harmatnak az állományon belüli eloszlását sajátosan alakítja az állomány architektúrája.

### IRODALOM

- Aitken, J.*: 1885–1886. On dew. Trans. Roy. Soc. Edinburgh. 33. 1: 9–64.
- Beysens, D.*: 1995. The formation of dew. Atmospheric Research. 39: 215–237.
- Brown, K. W.–Covey, W.*: 1966. The energy-budget evaluation of the micro-meteorological transfer process within a corn field. Agric. Meteorol. 3: 73–96.
- Duvedani, S.*: 1947. An optical method of dew estimation. Quart, J. Roy. Meteorol. Soc. 73. 317–318: 282.
- Godden, W.*: 1913. The genesis of dew. Meteorol. Mag. 48. 573: 163.
- Graf, A.–Kuttler, W.–Werner, J.*: 2004. Dewfall measurements on Lanzarote. Canary Islands. Meteorologische Zeitschrift. 13. 5: 405–412.

- Hiltner, E.*: 1931. Der Tau und seine Bedeutung für den Wasserhaushalt der Kulturpflanzen. Prakt. Bl. Pflanzenbau. 8: 223–233.
- Hofmann, G.*: 1955. Die Thermodynamik der Taubildung. (The thermodynamics of dew formation.) Ber. deut. Wetterdienstes. Germany. 3. 18: 45.
- Jacobs, A. F. G.–Heusinkveld, B. G.–Berkowicz, S. M.*: 1999. Dew deposition and drying in a desert system: a simple simulation model. Journal of Arid Environments. 42: 211–222.
- Jacobs, A. F. G.–Heusinkveld, B. G.–Kessl, G. J. T.*: 2005. Simulating of leaf wetness duration within a potato canopy. Netherlands Journal of Agricultural Science. 53. 2: 151–166.
- Jones, H. G.*: 1983. Plants and microclimate. Cambridge Univ. Press. London. 323.
- Kabela, E. D.–Hornbuckle, B. K.–Cosh, M. H.–Anderson, M. C.–Gleason, M. L.*: 2009. Dew frequency, duration, amount, and distribution in corn and soybean during SMEX05. Agricultural and Forest Meteorology. 149: 11–24.
- Kravkov, S.*: 1899. Rosa podzemnaia. (Underground dew.) [In: Brokgaus i Efron. Entsiklopedicheskii Slovar.] Leipzig. St. Petersburg. Russian. 27: 100.
- Leick, E.*: 1934. Der Tau als Standortsfaktor. Ber. Bot. Ges. 51: 409–442.
- Long, I. F.*: 1955. Dew and guttation. Weather. 10. 4: 128.
- Monteith, J. L.*: 1963. Dew: facts and fallacies. [In: Rutter, A. J.–Whitehead F. H. (eds). The water relations of plants.] Oxford. Blackwells. 37–56.
- Rose, C. W.*: 1966. Agricultural physics. Pergamon Press. Sydney. 69–87.
- Steiner, L.–Fleischmann, R.*: 1936. Taumessungen in Kompolt am nördlichen Rande der großen ungarischen Tiefebene. Amtl. Veröff. Kgl. Ung. Reichs-anst. F. Meteor. U. Erdmagnet. 12.
- Szász G.*: 1972. A talajfelszín közelében képződő csapadékmennyiség meghatározása. Időjárás. OMSZ Budapest. 76: 208–220.
- Szász G.–Rác Cs.*: 2006. A csapadék ingása Magyarországon (1881–2000). DE TEK Tud. Közl.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

Rác Csaba–Dr. Szász Gábor  
DE AGTC Agrometeorológiai Obszervatórium  
Debrecen  
Böszörményi út 138.  
H-4032