

A víz- és tápanyagellátottság, illetve -hasznosulás megítélésének kérdései kukorica terméseredmények vonatkozásában

¹RÁCZ CSABA–²NAGY JÁNOS

Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma

¹Agrometeorológiai Observatórium, Debrecen

²Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet, Debrecen

Összefoglalás

A növényállományok vízellátottságának megítélése nagymértékben függvénye a választott mérőszámoknak, illetve az ahhoz tartozó referencia időszakoknak. Különböző hosszúságú időszakok csapadékösszegei, illetve egy vízellátottsági index került összehasonlításra a Debrecen-Látóképen beállított többletényezős szántóföldi kukorica tartamkísérlet eltérő tápanyag-kezelési szinteken és öntözés mellett vagy a nélkül elért terméseredményeivel való korrelációja alapján. Meghatározásra került a trágyakezelések közül adott körülmények között legjobban hasznosuló tápanyagdózis nagysága, illetve a vízhasznosulás tápanyagszinttől való függésének mértéke. Figyelembe véve, hogy a gazdaságos termelés elsődleges eleme a produkciónak a termelési inputok egy marginális hatékonysági szintjéig történő növelése, valamint a termésbiztonság ezen belüli maximalizálása, konkrét ajánlások kerültek közlésre a leghatékonyabb tápanyagszint, illetve az ehhez tartozó öntözővíz-igény tekintetében.

Kulcsszavak: kukorica, vízellátottság, vízhasznosulás, tápanyag-hasznosulás

Aspects of the judgement of water and nutrient supply and utilisation in relation to maize yield

¹CS. RÁCZ–²J. NAGY

University of Debrecen, Centre for Agricultural and Applied Economic Sciences

¹Agrometeorological Observatory, Debrecen

²Institute for Land Utilisation, Regional Development and Technology, Debrecen

Summary

The judgement of the water supply of crop populations largely depends on the chosen index number and the related reference period. The precipitation sums of different length periods and a water supply index were compared on the basis of their correlations with the yield obtained on different nutrient treatment levels and under irrigated or non-irrigated conditions in a multifactoral long-term field experiment on maize established in Debrecen-Látókép. The nutrient dose that can be utilised the best under the given circumstances and the dependence of the water utilisation from the nutrient level were determined. Considering that the primary element of economical production is the increase of production to a marginal efficiency level of production inputs and the maximisation of yield safety, specific recommendations were provided in relation to the most effective nutrient level and its associated irrigation water need.

Key words: maize, water supply, water utilisation, nutrient utilisation

Вопросы оценки обеспеченности водой и питательными веществами и их использования в отношении результатов урожаев кукурузы

¹Ч. РАЦ–²Я. НАДЬ

Центр Агро-Экономических наук Дебреценского Университета

¹Агrometeorologическая Обсерватория, Дебрецен

²Институт Землепользования, Техники и Развития территорий, Дебрецен

Резюме

Оценка водообеспеченности растительных насаждений в большой мере зависит от выбранного показателя, а также от референции, относящейся к этому периоду. Суммы осадков различных по продолжительности периодов, точнее один индекс водообеспеченности сравнили в проведённом в Дебрецен-Латокейпе (Debrecen-Látókép) многофакторном пахотном кукурузном продолжительном опыте на различных уровнях обработок питательными веществами при орошении или без него на основе корреляции полученных результатов урожаев. Определили величину лучше всего использованной дозы питательного вещества среди обработок удобрениями в данных обстоятельствах, а также меру зависимости водоиспользования от уровня питательных веществ. Учитывая, что первичный элемент рентабельного производства – увеличение до маргинального уровня эффективности производственных «input»-ов продукции, а также максимализация безопасности урожая при этом, сообщаются конкретные предложения относительно самого эффективного уровня питательного вещества и относящейся к этому потребности в воде орошения.

Ключевые слова: кукуруза, водообеспеченность, водоиспользование, использование питательного вещества

Bevezetés

Klimatikus szempontból Magyarországon a kukoricatermesztés legfőbb korlátozó tényezője a csapadék bizonytalansága, rajta keresztül pedig a megfelelő vízforgalom gyakori zavara. A ritkábban előforduló túlzott vízbőség éppúgy

káros, mint a jóval gyakoribb gyenge vízellátottságú időszakok. A vízhiány már közvetlen módon is gátolja a tápanyagfelvételt, hiszen a növény csak oldat formájában képes felvenni a szükséges tápelemeket. A nem elégséges vízellátás azonban a növényi vízháztartás felborulásán keresztül a tápanyag-hasznosulást is kedvezőtlen irányban befolyásolja, így vezet végső soron termés kieséshez.

A kukorica víz- és tápanyagforgalmának szoros interakciója régóta ismert, hazánkban és külföldön is számtalan kutatásnak képezi tárgyát. Ugyancsak ősi törvényszerűség, hogy a két tényező hasznosulása is egymásra utalt; optimális vízellátottságnál a tápanyaghasznosulás maximális, illetve harmonikus tápanyagellátottság esetén lesz a legjobb a vízfelhasználás hatásfoka. A termésszint fokozatos emelkedése révén ennek mind nagyobb szerep jut gazdasági megfontolásokból, de az optimális ellátottság számszerűsítése azért is bír nagy jelentőséggel, mert elsődlegesen a folyamatosan és gyorsuló ütemben fejlődő biológiai alapok függvénye, így számértékében maga sem állandó. Emellett a többi ökológiai és agrotechnikai tényező befolyásoló szerepe sem hanyagolható el (Szalóki 1988), ezek egyben eszközt is jelentenek a termesztő kezében. Ugyanakkor a víz- és tápanyagellátottság relatív fogalmak, ezek adott, vagy optimális mértékének megítélése is gyakran nehézkes, legalábbis semmiképpen sem egyszerűsíthető le pusztá csapadékösszegek és hatóanyag dózisok közlésére.

A két tényező kölcsönhatásának vizsgálata már a múlt század második felétől fogva központi kérdés volt az agronómiai kutatásokon belül (Hank és Frank 1951, Debreczeniné 1964, 1969). A növény vízellátottsága és a tápanyaghasznosulás közötti szoros korreláció már ekkor igazolást nyert, a későbbiekben is több tanulmány született az optimális víz- és tápanyagmennyiségek számszerűsítésére. Átlagos termőhelyi viszonyok mellett, és a talajban már meglévő tápanyagkészletet is figyelembe véve, viszonylag magas értékekben (120–240 kg N, 50–120 kg P, illetve 50–140 kg K) állapították meg a kukorica számára kívánatos adagokat (Dorogi 1987, Csathó et al. 1989). Összehasonlításképpen Nagy (1995) a Debrecen-látóképi kísérleti eredmények alapján 90–120 kg/ha N hatóanyag dózist tekint optimálisnak. Az értékek termőhely-specifikusságára való tekintettel sok esetben eleve régióra, vagy talajtípusra szabott értékeket találunk a szakirodalomban, melyekhez további korrekciók is járulnak az évről-évre, illetve egyéb agrotechnikai és ökológiai tényezőket is figyelembe véve (Bersenyi 1993). A vízellátottsági anomáliák káros hatásainak mérséklését célzó korrekció jellemzően a NPK-adagok csökkentéséből áll,

amennyiben a tenyészidőszak korai szakasza, vagy a megelőző évjárat száraz. Hűvös, túlzott csapadékú évjáratokban (600 mm<) vagy azokat követően pedig az emelt dózisu N-trágyázás lehet kimondottan alkalmas a termés kiesés csökkentésére (Ruzsányi 1997). Debreczeni (1994) viszont száraz, aszályos évek után a N-adag emelésében, a P és K-adag csökkentésében látja a korrekció helyes irányát. Számos szerző igazolta, hogy a víz hasznosulása tápanyagellátás optimuma környékén a legjobb (Ruzsányi 1973), az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek eredményei alapján N-műtrágyázás hatására ez 4–5 kg/ha/mm-rel nőtt, míg a P-adagolás nem növelte szignifikánsan. Nagy és Huzsvai (1995) vizsgálatában a tenyészidő csapadékhasznosulása 23 kg/mm volt. Szász (1998) 120 éves idősort vizsgálva kimutatta, hogy a vízhasznosulási együttható (WUE) az 1960-as évek óta a genetikai előrehaladás révén jelentősen nőtt, az akkori 12,2–16,1-ről egy évtized alatt is 17 kg/mm körülire emelkedett, napjainkra pedig már jóval efölötti, kedvező vízellátásnál műtrágyázás mellett akár 35,8–61 kg/mm (Debreczeniné 2009).

A tápanyag-hasznosulás vízellátottságtól függő dinamikájának vizsgálata kapcsán ugyancsak születtek újabb eredmények, e dinamika a vízhasznosulással megegyezően optimumgörbével jellemezhető (Pummer *et al.* 1995). Ezzel együtt a víz hasznosulásának határfoka a tenyészidő során is változik, maximumát a növirágzás körüli 6–7 hétben éri el (Shaw és Dale 1959). Szász (1997) szerint a kukorica napi vízigénye a szárbainduláskor 1–2, míg virágzás idején a 3 mm-t is meghaladhatja. Ezzel kalkulálva a tenyészidei vízszükséglet Magyarországon 320–490 mm között alakul. A Hajdúhát térségében hozzávetőleg 400 mm (Szász 1988, Varga-Haszonits és Varga 1999). A tenyészidőszak természetes csapadéka ezt ritkán fedezi önmagában, de előfordul, hogy a talajban tározott mennyiséggel együtt sem. Nagy (2007) megállapítja, hogy öntözéses gazdálkodásban eme évjáráthatás mérsékelhető, a trágyahatás pedig ezzel párhuzamosan növelhető. A trágyahatás maximalizálása csak ily módon biztosított, illetve az öntözővíz jó határfokú felhasználásához éppúgy szükséges a tápanyagpótlás. A nyári, intenzív párologtatással, vízfelhasználással járó időszakban az alföldi termőközetekben a termésbiztonság elfogadható szintre emeléséhez tehát szükséges az öntözés. Antal (2001) a kukorica öntözővíz igényét átlagosan 82 mm-ben határozza meg, ennnyivel kevesebb víz áll tehát rendelkezésre az optimális evapotranspirációhoz. Kritikus tényező azonban ennek ütemezése, időzítése, tekintettel a nyári csapadék nagy statisztikai bizonytalanságára, változékonyságára. A csapadék és az öntözővíz tárolhatósága

és a növény számára elérhetővé tétele szempontjából lényeges a talajok vízkapacitása (*Ruzsányi* 1989). A rendelkezésre álló vízmennyiség kalkulációjakor tehát tekintetbe kell venni a talajok eme pufferkapacitását, a bennük tárolt mennyiséget is. Jelen munka ennek megfelelően a pusztai csapadékmennyiségekre alapuló számításokat ötvözi a Szász-féle vízellátottsági indexre épülő vizsgálatokkal. Ez ugyanis a tenyészidei csapadékmennyiségen kívül figyelembe veszi a tenyészidőn kívül hulló, de a talajban tározódva a növény számára még elérhető vízmennyiséget is (*Szász* 1991).

Anyag és módszer

A vizsgálat anyagául szolgáló termésadatok a DE AGTC Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet Debrecen-Látóképen beállított többtenyezős szántóföldi tartamkísérletéből származnak. A talajművelés, növényszám, genotípus, öntözés és műtrágyakezelések közül a vizsgálat szempontjából csak utóbbi kettő volt lényeges, így a termésadatok kimondottan ezekre nézve kerültek kiértékelésre. Ennek megfelelően az elemzés háromféle műtrágyázási [kontroll (Ø), N:120-P₂O₅:90-K₂O:106 (*N-120*), illetve N:240-P₂O₅:180-K₂O:212 (*N-240*) kg hatóanyag/ha], illetve kétféle öntözési (kontroll, öntözött) kezelésre készült el. Az öntözővíz kijuttatott mennyisége évenként változó, 20–270 mm közötti volt, igénytől függően.

A kísérleti terület talaja: Lössz alapkőzetten képződött jó termőképességű alföldi mészlepedékes csernozjom borítja a Kísérleti Telep területét, ennek fizikai és kémiai tulajdonságait az alábbi néhány paraméterrel jellemezhetjük:

A talaj kémhatása 6,2 pH körüli, mésztartalma 10–13%, humusztartalma 2,8–3,0% közötti, higroszkóposági értéke (h_{y1}) 2,63, Arany-féle kötöttségi száma pedig 43. E két utóbbi érték alapján fizikai féleség szempontjából középkötött vályogtalajról beszélhetünk. A talajvizsgálatok további eredményei szerint a talaj N és P-ellátottsága közepesnek (Al-oldható P₂O₅: 130–200 mg/kg), K-tartalma jónak bizonyult (Al-oldható K₂O: 240–280 mg/kg), mikroelem-hiány nem jellemző. Kiemelendő még a talaj 70–90 cm mély humuszos rétege, valamint az, hogy a talajvíz szintje 6–8 m között helyezkedik el, így belvíz szempontjából általában kevésbé veszélyes a terület. A talaj vízkapacitása nagy, a hasznos VK 0–100 cm-en 157 mm, a 100–200 cm-es szelvényben pedig 150 mm.

A terméseredmények értékeléséhez a vizsgált évek (1989–2007) havi csapadékösszeg- és középhőmérséklet adatait a DE AGTC Agrometeorológiai Observatóriuma szolgáltatta.

Az öntözés és az egyes tápanyagkezelések terméseredményekre gyakorolt hatását, illetve a két tényező interakcióját a kukorica tenyészidejére, vagy aktív növekedési időszakára számított csapadékösszegeken kívül vízellátottsági mutatók tükrében is értékelhetjük. A Szász-féle vízellátottsági index (VE, dimenzió nélküli szám) kiszámításának módja (1. egyenlet) az alábbi:

$$VE = \left[\frac{1}{F} \cdot Cs(XII-V) \cdot \frac{10 \cdot \sum Cs(VI-VIII)}{0,2 \cdot \sum T(VI-VIII)} \right] \cdot \frac{67}{RN}, \text{ ahol} \quad (1.)$$

F: a nyarat megelőző tél és tavasz csapadékát kifejező paraméter

Cs(XII-V): a decembertől májusig tartó időszakban mért csapadékösszeg (mm)

Cs(VI-VIII): a június–augusztusi időszak csapadékösszege (mm)

T(VI-VIII): a június–augusztusi időszak havi középhőmérsékleteinek összege (°C)

RN: a relatív páratartalom átlagos értéke a három nyári hónapban (%)

Az F-paraméter pontos meghatározási módját, illetve a VE kiszámításának és elméleti háttérének részletesebb leírását lásd: Szász (1991). A formula másképpen is felírható, a számításokat ezen egyszerűbb változat (2. egyenlet) felhasználásával végeztük:

$$VE = \frac{1}{F} \cdot Cs(XII-V) \cdot \frac{10 \cdot \sum Cs(VI-VIII)}{PET(VI-VIII)} \quad (2.)$$

A képletben a PET(VI-VIII) rövidítés a június–augusztusi potenciális evapotranspiráció összegét jelenti mm-ben (Szász 1991).

Az egységnyi termés (vagy biomassa) előállításához szükséges víz mennyiségét a transzspirációs együttható fejezi ki (3. egyenlet).

$$\text{Transzspirációs együttható} = \frac{\text{vízmennyiség (mm)}}{\text{szárazanyag (kg)}} \quad (3.)$$

A mutató a szemtermés mennyiségére is felírható, illetve a felhasznált víz mennyisége utalhat a tenyészidei (vagy egyéb időtartamokra megállapított) csapadékmennyiségre, vagy a tényleges evapotranspiráció számértékére is, ennek megfelelően a szakirodalomban igen eltérő értékekkel találkozhatunk. A transzspirációs együttható alkalmazása inverz módon felírva is elterjedt, ekkor vízhasznosulási mutatót (water use efficiency, WUE) kapunk, mely kifejezi egységnyi csapadékmennyiségre, öntözővízre, vagy evapotranspirációra jutó szárazanyag mennyiség vagy szemtermés nagyságát. Jelen vizsgálatokban is ez utóbbi formát alkalmaztuk, mégpedig az április–augusztusi időszak csapadékára vonatkoztatva.

Eredmények és azok értékelése

Gyakorlati oldalról megközelítve a témával kapcsolatos vizsgálatokat, érdeklődésre elsősorban azok az információk, adatok tartanak számot, amelyek az agrotechnikai kérdésekben meghozandó döntéseket érdemben is támogatni képesek. Lényeges tudnunk, hogy adott tápanyag-ellátottsági szinten milyen a kukorica statikus és dinamikus vízigénye, azaz milyen mennyiségben és időzítéssel kell a víznek rendelkezésre állnia az optimálisan nagy termés kialakulásához. Megfordítva a kérdést, lényeges ismerni az adott vízellátottság mellett legjobban hasznosuló tápanyagdózis nagyságát. Nyilvánvaló, hogy ökológiai és ökonómiai szempontból mást és mást jelent a legjobb hasznosulás intervalluma, a gazdasági szempontok taglalása azonban már túlmutat e munka célján és keretein.

1. A vízellátottság számszerű kifejezésének problémaköre

Az eltérő évjáratok vízellátottság szempontjából történő megítélése pusztán a csapadékösszegek alapján nehézkes. Szakirodalmi adatok, illetve a tartamkísérlet adatainak tanúsága szerint is meglehetősen nagy bizonytalanság jellemzi a terméssorok valamint az időszaki csapadékösszegek korrelációját. Ismert ökológiai adottságok között a kukorica tényleges vízigénye és -felhasználása jól modellezhető, az ily módon nyert párolgási adatok segítségével a vízellá-

tottság viszonylag pontos meghatározására van lehetőség. Ennek bemenő adatigénye azonban nagyobb, s a módszer ezek pontosságára igen érzékeny. Ezzel szemben a csapadékösszegek évi, tenyészidei vagy egyéb időszakra történő kiszámítása hamis képet festhet a valós viszonyokról. Mindenekelőtt számos tényező, így a fajta, érési csoport, talajviszonyok, stb. függvénye, figyelembe vehető az időszak hossza is, hiszen a lehulló csapadék a talajban tárolódik, s ennek felvehetősége és hasznosíthatósága számunkra lényegesebb, mint maga az időszaki összeg. A talajok vízbefogadó, -tároló és -szolgáltató képességének ebből a szempontból kulcsszerepe van. Éppen ezen okból kifolyólag adott évszakos csapadékösszegek csakis lokálisan értékelhetők, térségi szinten egymással csak a talaj- és domborzati viszonyok figyelembevételével összevetethetők. További problémát jelent a havi összegeken belül jelentkező szóródás, ami a csapadék természeténél fogva nagy időbeli és térbeli változékonyságából adódik. Bizonytalansága ráadásul annál nagyobb, minél nagyobbak a havi átlagok, azaz éppen a nyári csapadékmaximum idején, a kukorica legintenzívebb növekedési szakaszában, a május–augusztusi időszakban. Szélsőséges esetben akár egy több hetes szárazság is rejtve maradhat a havi összegben, ha azt egy nagyobb, leginkább konvektív eredetű csapadékhullás ellensúlyozza – ennek hasznosulása azonban mindemellett többnyire kedvezőtlen is.

Az 1. ábrán háromféle időszak csapadékösszegét figyelembe véve hasonlítottuk össze a kísérletben résztvevő három műtrágyakezelés termésnagyságra gyakorolt hatását. Minden esetben a csapadék nagysága szerint kategorizáltuk az egyes évjáratokat, öntözetlen állománynál csak a természetes csapadékot, öntözötnél pedig a tenyészidőszak megfelelő tartománya során kijuttatott összes öntözővíz mennyiségét is. Az éves csapadékösszegek alapján kalkulálva szembevetnő, hogy a csapadékoság növekedtével nem feltétlenül nő a termés, ezt az „anomáliát” egyfelől a referencia-időszak és a kukorica tenyészidejének különbözősége, másfelől pedig a viszonylag alacsony esetszám ($n=17$) figyelembevétele okozza. Amint az várható is volt, a referencia-időszak hosszának csökkentésével a csapadékmennyiség és a termés nagysága közötti összefüggés nem öntözött állományoknál közelít a lineárishoz, öntözés mellett pedig „telítődési” jelenség figyelhető meg. Ugyancsak szemmel látható módon az öntözés biztosíték a szignifikáns termésnövekedésre a kontroll állományokhoz képest mindkét trágyakezelésnél, bármely időszak csapadékát vesszük is alapul. Ezzel szemben a nem öntözött állományokban csakis a 300 mm feletti csapadékmennyiségnél érvényesül szignifikáns terméstöbblet, s itt is egyedül

az április–augusztusi időszakra vonatkoztatva. A tapasztalatok szerint ezen tartomány (ld. az ábra középső sávja) csapadékmennyiségének figyelembevétele a legcélravezetőbb hasonló összehasonlításokban. 350–400 mm feletti tenyészidei vízmennyiség mellett már nem nő jelentősen a termés nagysága, de különösen a 120 kg/ha N hatóanyag-mennyiség feletti trágyázási szint mellett nincs már érdemi termésnövelő hatás, miközben a további tápanyagdózisoknak is jelentősen romlik a hatékonysága.

A különböző időszakokhoz tartozó csapadékösszegek mellett egyéb vízellátottsági mérőszámok figyelembe vétele is célszerű, tekintettel a vízellátottság megítélhetőségének komplex voltára. Számos lehetőség közül erre a Szász-féle vízellátottsági indexet választottuk ki, melynek bemenő adatigénye csupán havi csapadékösszegekre, illetve átlaghőmérsékletekre és relatív páratartalom adatokra korlátozódik, ugyanakkor adott termőkörzetre történő kalibrálásra mindenkor szükség van. Ennek oka elsődlegesen a különböző körzetek talajainak vízkapacitásában mutatkozó, esetenként meglehetősen nagy különbségekben keresendő. A kísérleti terület mélyrétegű, a Hajdúhátra általában is jellemző mészlepedékes csernozjom talaja a kukorica számára is elérhető rétegekben csaknem 300 mm vizet képes raktározni, jóllehet a veszteségek miatt ennek csak egy része hasznosulhat ténylegesen. A vetés körüli, illetve a korai vegetációs időszakban, száraz időjárásban különösen nagy jelentőségű a tenyészidőn kívülről ily módon történő „áthozatal”, de a nyári, nem ritkán több hetes száraz időszakok átvészélése szempontjából is kritikus lehet e tározókapacitás nagysága.

2. Az öntözés és a trágyakezelések hatékonyságának értékelése a vízellátottsági mérőszámok alakulásának tükrében

Vizsgálataink a fentiekben ismertetett két vízellátottsági mérőszámra épültek, ezek alapján kerültek megállapításra a tápanyag- és vízhasznosulási mutatók. Előzetesen már kimutatható volt, hogy az eredmények nem térnek el lényegesen a szakirodalomban szereplő és a korábbi vizsgálatok során is igazolódott törvényszerűségektől. Öntözetlen viszonyok között, 17 évjárat átlagában a 120 kg/ha adagú műtrágyakezelés többlethozama (ΔP) a kontrollhoz képest 2,05, míg a 240-es kezelésé 1,84 t/ha volt, azaz a természetes vízellátottság mellett az ilyen adagú műtrágyázás nem csak rosszul hasznosul, de közvetlenül is csökkenti a várható termés nagyságát. A tenyészidei vízpótlás mellett a két kezelés többlettermése közel azonos, 3,56, ill. 3,53 t/ha, vagyis a nagy adagú tápanyag-

1. ábra. *Eltérő hosszúságú referencia-időszakok csapadékösszegeinek összefüggése a műtrágyakezelések terméshozamával öntözött és öntözetlen állományokban (1990–2007)*

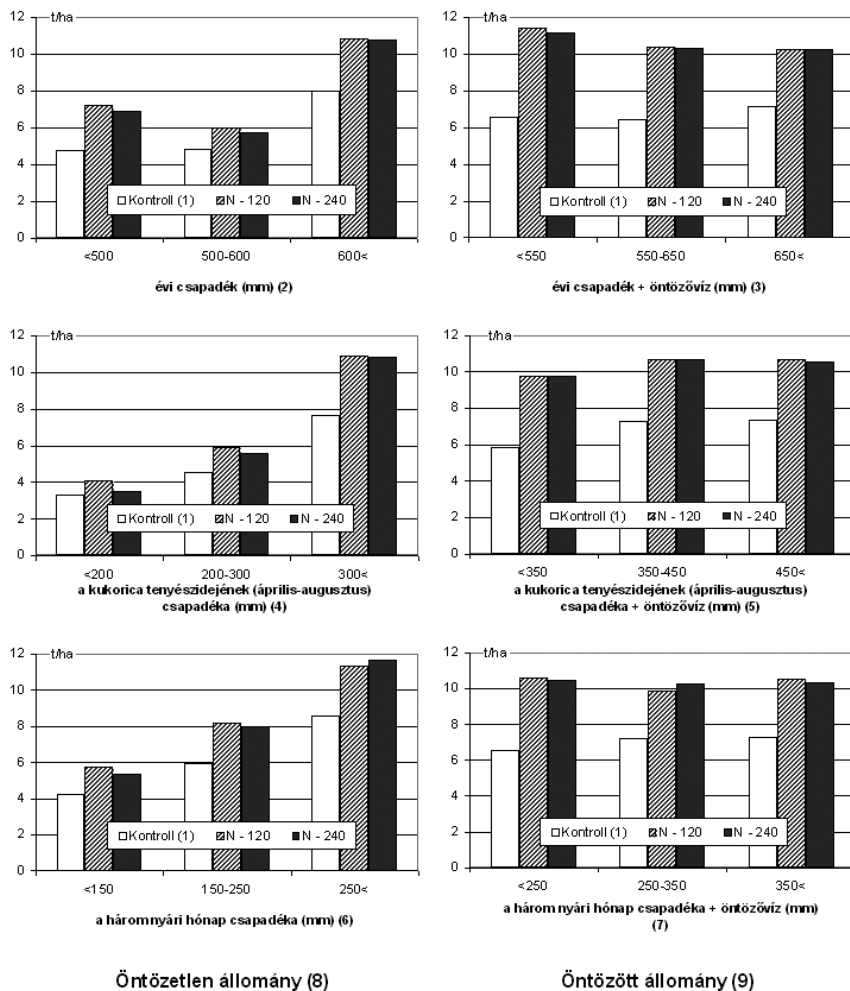


Figure 1. The correlation of different length reference periods' precipitation sums with the yield obtained as a result of fertiliser treatments in irrigated or non-irrigated populations (1990–2007). (1) Control, (2) Yearly precipitation (mm), (3) Yearly precipitation + irrigation water (mm), (4) Precipitation during the growing season of maize (April–August) (mm), (5) Precipitation during the growing season of maize (April–August) + irrigation water (mm), (6) Precipitation during the three summer months (mm), (7) Precipitation during the three summer months + irrigation water (mm), (8) Non-irrigated population, (9) Irrigated population.

kezelés marginálisnál itt is egyértelműen rosszabb hatásfokúnak bizonyult. Az öntözés által eredményezett termésnövekményt vizsgálva megállapítható, hogy a műtrágyázás nélküli állomány esetében átlagosan 1,3, N-120-as kezelésnél 2,89, míg N-240-es kezelési szintnél 3,09 tonnával emelkedett a várható hozam hektáronként. A vizsgálatok gerincét azonban nem ezen tények megállapítása, hanem a különböző vízellátási mérőszámokkal történő összevetésük adta. A 2. ábra mutatja be az öntözött és öntöztelen állományok tulajdonképpeni „víz-reakcióját” a háromféle műtrágyakezelés mellett, természetes vízellátottságra vonatkoztatva.

2. ábra. A javuló természetes vízellátottság termésmennyiségre gyakorolt hatásának összevetése öntözött és öntöztelen állomány esetében (1990–2007)

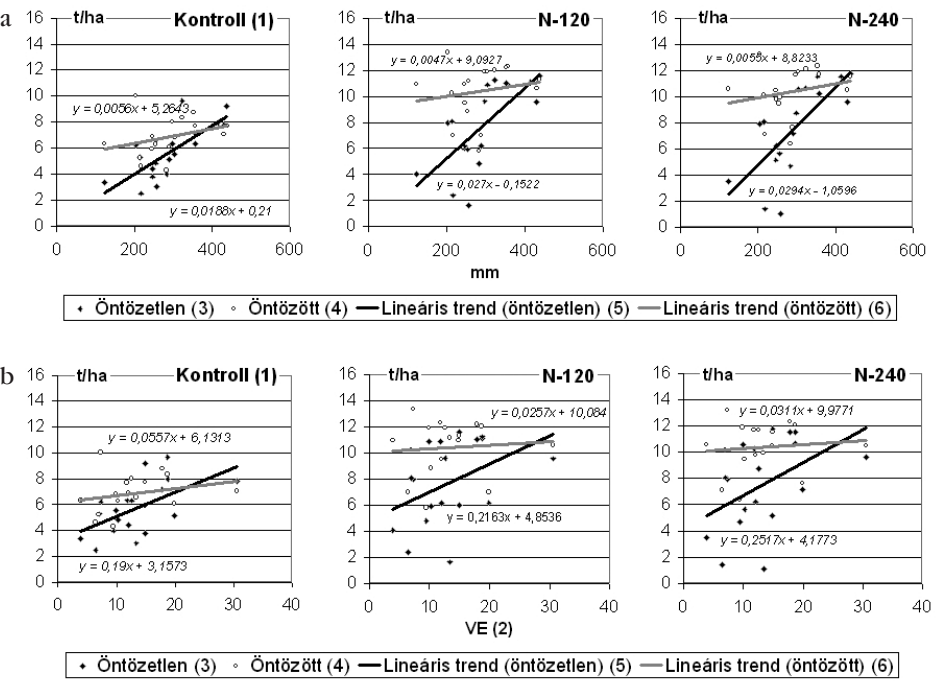


Figure 2. The comparison of the effect of the improving natural water supply on yield in the case of irrigated and non-irrigated populations (1990–2007). (1) Control, (2) Water supply, (3) Non-irrigated, (4) Irrigated, (5) Linear trend (non-irrigated), (6) Linear trend (irrigated).

A kis esetszámból következően többnyire viszonylag nagy illesztési hiba mellett (r értéke tág határok, általában 0,01 és 0,76 között változik), azonban egyértelműen látható módon mind az öntözött, mind pedig az öntözetlen állományok termése nő a csapadékmennyiségekkel (2a. ábra) és a vízellátottsági indexszel (2b. ábra) egyaránt. Öntözött körülmények között továbbá a trágyadózisok növekedtével a trendfüggvény meredeksége (m) is konzekvensen nő, ami szoros tápanyag-vízreakció kölcsönhatásra utal a vizsgált kukoricaállományoknál. A nem öntözött parcellákhoz tartozó egyenesek meredeksége ugyancsak pozitív szám, de ezek képe megtévesztő lehet. Eleve kisebb (m) értékeiket az indokolja, hogy a viszonyítási alap az egységesség kedvéért mindkét kezelésnél a természetes csapadékmennyiség volt, ám indirekt módon így is következtethetünk a vízellátottság termésnövelő hatásának mértékére. A teljes rendelkezésre álló vízmennyiségre vonatkoztatva két kezelés egyenesének meredeksége megegyezne, lefutásuk párhuzamos lenne. Minél nagyobb az öntözési kezelés (m) értékének csökkenése – ehhez viszonyítva –, annál nagyobb a pótlólagos vízmennyiség hatása a többlettermés kialakulásában. A kétféle kezelés ily módon történő összehasonlítása azonban módot ad arra, hogy az egyenesek metszéspontjainak x -tengelyre vetítésével meghatározhassunk egy elméleti vízellátottsági értéket, ahol a két kezelés terméshozama azonos. Az ábra tanúsága szerint tehát a tápanyagszinttől függően hozzávetőleg 380–420 mm április–augusztusi időszakra vonatkoztatott csapadékösszegnél, illetve $VE=22-28$ körüli értékénél helyezkedik el az a hangsúlyozottan elméleti határ, mely fölött az öntözés már biztosan nem járhat szignifikáns termésnövelő hatással. Utalva az 1. pontban már meghatározásra került 350–400 mm-es tenyészidei csapadékösszegre – mint a tápanyag-hasznosulás növekedésének marginális csapadék-ellátottsági szintjére – a két kapott eredmény egymást erősíteni látszik. Mivel az április–augusztusi időszak havi normálösszegei (1881–2009.) rendre 45–60–73–65–58, teljes összege pedig cca. 300 mm, az öntözés szükségessége még átlagos évjáratokban is egyértelműen igazoltnak mondható. Egyúttal kalkulálható egy, az esztendő legtöbbjében a műtrágyázott kukoricaállományok számára kielégítő öntözővíz mennyiség is, melynek nagysága a fentiek alapján 80–120 mm lehet, amennyiben tenyészidőszaki öntözésről beszélünk.

Az öntözési kezelések szemtermés idősorát használtuk fel annak szemléltetésére, hogy a VE -index végeredményben mennyivel fejezi ki jobban a tényleges vízellátottságot, mint a csapadékösszegeken alapuló számítások. A 3. ábra oszlopai a kukorica termését ábrázolják trágyakezelésként, míg a vonaldiag-

ramok a két alapul vett vízellátottsági mérőszám április-augusztus bázisú számértékeit mutatják.

3. ábra. Az április–augusztusi időszakra vonatkozó vízellátottsági mérőszámok és a műtrágyakezelések eredményének összefüggése öntözött termés idősoron (1990–2007)

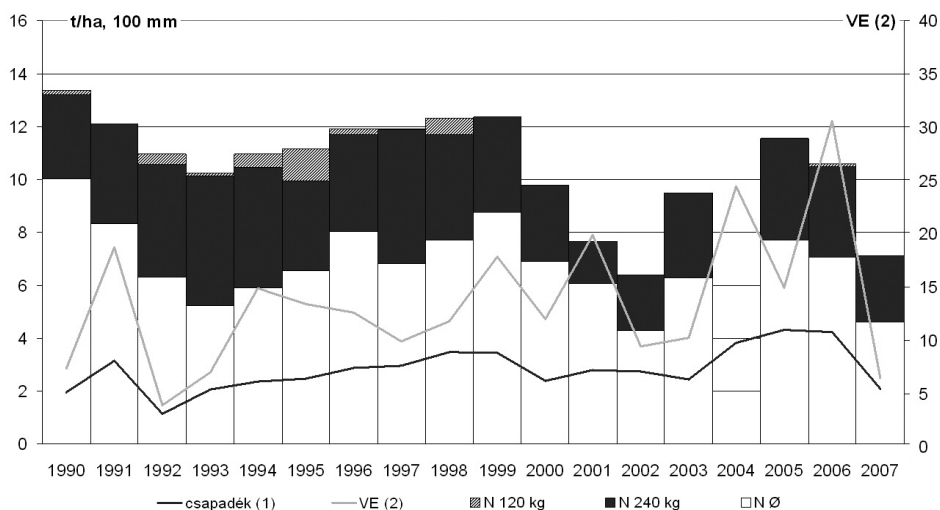


Figure 3. The correlation between the water supply index numbers of the April–August period and the result of the fertiliser treatments in an irrigated yield time series (1990–2007). (1) Precipitation, (2) Water supply.

Az adatsoroknál szembetűnő, hogy egyik mérőszám sincs kimondottan szoros korrelációban a termésadatokkal, de a kettő közül mindenképpen a VE-értékek az informatívabbak. Leolvasható, hogy hozzávetőleg 15-ös érték felett csökken minimálisra a N-120 műtrágyakezelés hozamtöbblete a N-240-hez képest, illetve ekkor fordul elő gyakrabban, hogy a nagy dózisú kezelés okozza a legnagyobb termést. A vizsgált éveken megközelítőleg fele-fele arányban osztozott a N-120 illetve a N-240 kezelés, mint legnagyobb termést adó műtrágyadózis. Általánosságban elmondható, hogy a bőségesebb vízellátású évjáratokban szerepelt jobban a nagyobb műtrágyaadagú kezelés, míg a szárazabbakban a kisebb adagok hozama lett nagyobb. Több ízben akad ugyanakkor eltérés az említett szabályszerűségtől, ezt azonban csak esetenként magyarázza a kijuttatott öntözővíz változó mennyisége.

Az öntözéses kezelések termésnövelő hatásának vizsgálata kapcsán részletesebben ki kell még térni az öntözés természetes csapadékhasznosulásra gyakorolt hatására. A megnövelt rendelkezésre álló vízmennyiség, azaz a vízellátottság javulásának hatása elsődlegesen a növekvő termésmagyságon keresztül érvényesül. Másfelől természetes, hogy a nagyobb vízádagok a vízhasznosulási együttható értékét csökkentik, azonban különösen a műtrágyával is kezelt állományok esetében elvárható, hogy a kielégítően nagy vízádagú öntözés a WUE értékét az öntözés nélküli állományok vízhasznosulási szintje fölé növelje. Ezen túlmenően a termésbiztonság javítása is fontos cél az öntözés tervezésekor, így a termés mennyisége és a WUE értéke tekintetében egyaránt a szóródás csökkenését várhatjuk.

A tartamkísérlet terméseredményeinek az április–augusztusi csapadék-összegekkel történő összevetésekor az alábbi WUE értékek adódtak. Az öntözés nélkül beállított parcellák közül a nem műtrágyázott kontroll kezelés 17 év átlagában 19,72 kg, a N-120-as kezelés 26,58, a N-240-es pedig 25,59 kg szemtermést produkált a csapadék minden mm-ére. A három kezelés közül legjobban tehát a 120 kg nitrogén hatóanyagot tartalmazó műtrágyaadaggal ellátott állomány hasznosította a csapadékvizet. Meg kell azonban említeni, hogy főként a legmagasabb tápanyag-ellátottsági szinten igen tág határok között (4,1–39,0 kg/mm) ingadozik a WUE, szórása pedig a három kezelésnél rendre 5,3–8,7–9,1 kg/mm volt. Ez önmagában is utal a műtrágyázás termésbiztonság csökkentő hatására, amennyiben a megemelkedett vízigény kielégítéséről nem gondoskodunk. Az öntözött állományok vízhasznosulási együtthatói a három trágyázási szinten a következőképpen alakultak: Ø – 17,39, N-120 – 26,67, N-240 – 26,59 kg/mm. Szembetűnő, hogy a műtrágyázás nélküli kontroll állományok közül az öntözetlen vízhasznosítása a jobb, ami pontosan meg is felel előzetes várakozásainknak. A megnövelt vízmennyiség arányaiban nagyobb volt a rendelkezésre álló tápanyagkészlethez viszonyítva, a termésnövelés szempontjából így feleslegesnek bizonyult. Műtrágyázás mellett azonban mindkét kezelés esetében meghaladja az öntözött állományok vízhasznosulási együtthatója az öntözetlenekét, legjobb hatásfokkal az öntözött 120 kg N hatóanyagú kezelés használta fel a rendelkezésre álló nedvességet. Jóllehet a három kezelés közül ennél a legnagyobb a WUE szórása is (rendre 3,7–6,6–6,3 kg/mm), azonban az öntözetlen állományhoz képest így is jelentős a termésbiztonság növekedése.

Következtetések, megállapítások

A vízellátottság tényleges mértékének pontos megítélése gyakran problematikus, s abban az esetben is, ha csak időszaki csapadékösszegek állnak rendelkezésre, alapvető fontosságú a referencia-időszak helyes megválasztása. Kukorica esetében a vizsgálatok szerint az április-augusztusi időszak csapadékösszege korrelál legjobban a különböző tápanyagszinteken elért termésmennyiségekkel, ennek hibája az egyszerűbb vízellátottsági indexekével (pl. Szász-féle VE-index) hasonló nagyságrendű.

A fenti elvek mentén vizsgálva a Debrecen-Látóképen beállított többtényezős kukorica tartamkísérlet műtrágya és öntözési kezeléseinek terméseredményeit, igazolható volt az ismert törvényszerűség, mely szerint hasonló adottságú termőhelyeken (közepes-jó NPK-ellátottságú csernozjomok) a 120 kg/ha N hatóanyagú műtrágyaadagokat meghaladó dózisok már nem növelik gazdaságos mértékben a termés mennyiségét, sőt, vízpótlás nélkül közvetlen módon csökkentik is azt. Ugyanakkor az öntözés nélküli trágyázás növeli ugyan a vízhasznosulást a nem trágyázott állományokhoz képest, de a termésbiztonság csak a megnövekedett vízigény öntözéssel történő kielégítése mellett nő elfogadható szintre. Újfént megállapítást nyert, hogy a trágyázás és a vízellátottság között pozitív kölcsönhatás van, ezért a gazdaságos termesztéshez e két agrotechnikai tényező szintjének egymással arányos beállítása mindenkor szükséges. Az említett 120 kg/ha nitrogén hatóanyagot tartalmazó tápanyag-ellátottsági szinthez tartozó optimális tenyészidei csapadékösszeg 350–400 mm közötti, figyelembe véve a természetes csapadék tájegységre jellemző mennyiségét és eloszlási sajátosságait, átlagosan legfeljebb 80–120 mm-es öntözéssel történő kiegészítés javasolható.

Köszönetnyilvánítás

A publikáció elkészítését a Nemzeti Technológiai Program (NKTH 00210/2008) és a TÁMOP 4.2.1./B-09/1/KONV-2010-0007 támogatta.

IRODALOM

- Antal E.*: 2001. A növényi vízellátottság hazai kérdőjelei a jövő évtizedekben a globális éghajlatváltozás tükrében. [In: Szász G. (szerk.) Dr. sen. Berényi Dénes születésének 100 éves jubileumi ünnepe. Jubileumi Kiadvány.] DE ATC. Debrecen. 119–145.
- Berzsenyi Z.*: 1993. A műtrágyázás és az évjárat hatása a kukoricalahibridek termesztésére és a N-műtrágyareakciójára tartamkísérletben az 1970–1991. években. Növénytermelés. 42. 1: 49–62.
- Csathó P.–Kádár I.–Sarkadi J.*: 1989. A kukorica műtrágyázása meszes csernozjom talajon. Növénytermelés. 38. 1: 69–76.
- Debreczeni B.*: 1994. Ökológiai hatások és a műtrágyázás kapcsolata. [In: Debreczeni B.–Debreczeni B.-né (szerk.) Trágyázási kutatások (1960–1990).] Akadémiai Kiadó. Budapest. 366–398.
- Debreczeni B.-né*: 1964. A műtrágyák gazdaságos adagjának és arányának vizsgálata öntözött talajokon. Időszerű öntözési kutatások. Vituki. 99–100.
- Debreczeni B.-né*: 1969. Adatok a kukorica vízháztartásának kérdéseihez. [In: Tó I. (szerk.) Kukoricatermesztési kísérletek 1955–1968.] Akadémiai Kiadó. Budapest. 433–439.
- Debreczeni B.-né*: 2009. Évjáráthatások vizsgálata az OMTK-kísérletek növényeinek termesztésére. [In: Debreczeni B.-né–Németh T. (szerk.) Az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OMTK) kutatási eredményei (1967–2001).] Akadémiai Kiadó. Budapest. 353–389.
- Dorogi I.*: 1987. A szántóföldi növénytermesztés kemizálása. [In: Hajdú M. (szerk.) A szántóföldi növénytermesztés átalakulása Magyarországon (1950–1980).] Akadémiai Kiadó. Budapest. 110–138.
- Hank O.–Frank M.*: 1951. Összefüggés a talaj tápanyagellátás és a vízfogyasztás között egyes gazdasági növényeknél. ÖKI Évkönyv 2. Szarvas. 219–230.
- Nagy J.–Huzsvai L.*: 1995. Az évjárat hatás értékelése a kukorica (*Zea mays* L.) termesztésére. Növénytermelés. 44. 4: 385–393.
- Nagy J.*: 1995. A műtrágyázás hatásának értékelése a kukorica (*Zea mays* L.) termesztésére eltérő évjáratokban. Növénytermelés. 44. 5–6: 493–506.
- Nagy J.*: 2007. Kukoricatermesztés. Akadémiai Kiadó. Budapest. 322–348.
- Pummer L.–Krisztián J.–Holló S.–Perényi M.*: 1995. A műtrágya – csapadék – termés kapcsolata kukorica tartamkísérlet mérési eredményei alapján. Növénytermelés. 44. 5–6: 535–545.
- Ruzsányi L.*: 1973. A műtrágyázás hatása egyes szántóföldi növények vízfogyasztására és vízhasznosítására. Növénytermelés. 23. 3: 249–258.
- Ruzsányi L.*: 1989. Az aszály enyhítésének agrotechnikai lehetőségei. [In: Hanyecz V. (szerk.) Aszály.] ÖKI. Szarvas. 49–54.

- Ruzsányi L.*: 1997. A szárazság, az aszály mérséklésének növénytermesztési lehetőségei a Hajdúság és a Közép-Tisza-vidék szántóin. [In: Nyíri L. (szerk.) Az aszálykárok mérséklése.] Mezőgazda Kiadó. Budapest. 42–108.
- Shaw, R. H.–Dale, R. F.*: 1959. Climate and corn yields in Iowa. Weekly Weather and Crop Bulletin. 46. 19: 7–8.
- Szalóki S.*: 1988. Az öntözéses gazdálkodás újabb kutatási eredményei. Tanulmányok. ÖKI. Szarvas.
- Szász G.*: 1988. Agrometeorológia. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 462.
- Szász G.*: 1991. A nyári aszályhajlam területi eloszlása Magyarországon. Acta Geographica Debrecina. Debrecen. 28–29: 299–308.
- Szász G.*: 1997. A víz a légkörben, a talajban és a növényben. [In: Szász G.–Tőkei L. (szerk.) Meteorológia mezőgazdáknak, kertészeknek, erdészeknek.] Mezőgazda Kiadó. Budapest. 111–148.
- Szász G.*: 1998. A természetes vízhasznosulás agrometeorológiai vizsgálatának eredményei. Növénytermelés. 47. 3: 289–300.
- Varga-Haszonits Z.–Varga Z.*: 1999. Agroklimatológia I. (Éghajlat és növénytermesztés). PATE. Mosonmagyaróvár. 284–325.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

Dr. Nagy János
DE AGTC Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032

RÁCZ Csaba
DE AGTC Agrometeorológiai Obszervatórium
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032