A zöld növények napsugárzás-hasznosítása és az élelmiszer-termelés

VARGA-HASZONITS ZOLTÁN – VARGA ZOLTÁN

Kulcsszavak: sugárzáshasznosítás, gazdaságosság, agrotechnológia, gabonafélék, burgonya.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A Föld biomassza-termelése – és így a mezőgazdaság teljesítőképessége is – alapvetően függ a zöld növények azon képességétől, hogy a Nap sugárzását képesek hasznosítani. A napsugárzás jelentős veszteségekkel érkezik le a földfelszínre, a kisugárzott mennyiség mindössze kb. nyolcmilliárdod részét tudnák a növények szerves anyaggá alakítani. Valójában azonban a tényleges sugárzáshasznosítás értéke messze van a 100%-tól. Ennek elméleti maximuma 22-24%, a Föld felszínének átlagos hasznosítása pedig 0,23% körüli érték lehet.

A magyarországi szántóterületek nagyobbik részét elfoglaló négy fontos gazdasági növény (őszi búza, őszi árpa, kukorica, burgonya) sugárzáshasznosítása alapvetően befolyásolja a termelőtevékenység gazdaságosságát. A növények sugárzáshasznosulásának javítása nagyjából hasonló arányú termésnövekedést indukál. Figyelembe véve, hogy a ténylegesen elért átlagos hasznosulási értékek (0,8-2,6%) csupán 5-10%-át jelentik a potenciális sugárzáshasznosulásnak, az mondható, hogy ez a komplex növényi jellemző még bőven fejleszthető, s viszonylag csekély, pár tized százalékos sugárzáshasznosulás-növekedéssel a terméshozamok hektáronkénti akár több 100 kg-os javulása érhető el.

A maximális hatékonyság érdekében szükséges a sugárzáshasznosulás javulását eredményező különböző gyakorlati (nemesítési vagy agrotechnológiai) eljárásokat együttesen, komplex módon alkalmazni. A négy vizsgált növény sugárzáshasznosulása alakulásának időbeli trendjei is azt mutatják, hogy az utóbbi években az agrotechnológia komplex alkalmazása nem volt kielégítő, mert nem segítette elő a korábbiakhoz hasonló mértékben a sugárzási energia megfelelő mértékű hasznosítását.

BEVEZETÉS

Minden élőlénynek szüksége van energiára. Ahhoz, hogy egy élőlény élettevékenységet folytathasson, az energiához hozzá is kell jutnia. Az energia forrása a Nap. Az élőlények egy része energiaszükségletét közvetlenül a napsugárzásból szerzi be. Ezek az élőlények az energiagyűjtők. Az élőlények egy másik csoportja energiaszükségletét az energiát tartalmazó élőlények elfogyasztása útján fedezi. Ezek alkotják az energiafogyasztók csoportját.

Az élőlények tehát az energia beszerzésének módja alapján két csoportba sorolhatók. Az energiagyűjtők csoportját a zöld növények alkotják. Ezek a rájuk érkező napsugárzást elnyelik és a napsugárzás energiája segítségével szervetlen anyagokból szerves anyagot képesek előállítani. A szerves anyagok a napsugárzás energiáját kémiai kötések formájá-

ban tartalmazzák, s ebből az energiából fedezik a növények szervezetük működésének energiaszükségletét. Az energiafogyasztók csoportjába pedig egyrészt azok az élőlények tartoznak, amelyek a zöld növényeket fogyasztják el (növényevők), s a zöld növényekben raktározott energiát használják a szervezetük működéséhez szükséges energia fedezésére, másrészt pedig azok az élőlények, amelyek a növényevő állatok elfogyasztásával (húsevők) biztosítják energiaszükségletüket. Ez utóbbi esetben azonban számolni kell azzal, hogy az energia még inkább csökkenő mennyiségben adódik tovább, hiszen minden élőlény életműködéséhez energiát használ fel. Az ember mindenevő, mivel az életműködéséhez szükséges energiát részben közvetlenül a zöld növények elfogyasztásával szerzi be, részben pedig a növényevő állatok elfogyasztásával.

A NAP MINT ENERGIAFORRÁS

A Nap felszínétől a belseje felé haladva a sűrűsége folyamatosan növekszik, ugyanígy a belső mag felé haladva a nyomás és a hőmérséklet is gyorsan emelkedik. A Nap belsejében uralkodó speciális fizikai körülmények között (nagy nyomás, magas hőmérséklet) négy hidrogénatom magfúzió (egyesülés) révén átalakul egy héliumatommá. Mivel négy hidrogénatom 0,03 atomi tömegegységgel nagyobb tömegű, mint a keletkezett egy héliumatom, a tömegfelesleg energiává, elsősorban hőenergiává alakul. A Nap másodpercenként annyi (mintegy $3{,}8 \cdot 10^{26}$ Joule) energiát bocsát ki, aminek fedezésére másodpercenként $6 \cdot 10^{14}$ g = 600 millió tonna hidrogén héliummá alakulása szükséges. Ezt a mennyiséget megszorozva 3600-zal megkapjuk az egy óra alatt átalakuló hidrogén mennyiségét: $6 \cdot 10^{14} \cdot 3600 = 2{,}16 \cdot 10^{18}$ g/óra. Megszorozva ezt az értéket 24-gyel, adódik az egy nap (24 óra) alatt átalakuló hidrogénmennyiség: $2{,}16 \cdot 10^{18} \cdot 24 = 5{,}184 \cdot 10^{19}$ g/nap. Ennek a 365-szöröse adja az évi értéket: $5{,}184 \cdot 10^{19} \cdot 365 = 1{,}8921 \cdot 10^{22}$ g/év, ami egymilliárd év alatt (10^9-nel szorozva): $1{,}8921 \cdot 10^{22} \cdot 10^9 = 1{,}8921 \cdot 10^{31}$ g/milliárd év. Ennyi tehát a Nap kisugárzás miatti hidrogénvesztesége egymilliárd év alatt. Mivel a Nap teljes tömege $2 \cdot 10^{33}$ g, kiszámítható, hogy az egymilliárd év alatti veszteség ennek hány százaléka:

$$\frac{1{,}8921 \cdot 10^{31}}{2 \cdot 10^{32}} \cdot 100 \approx 0{,}95\% .$$

A napsugárzás fedezésére szolgáló hidrogénveszteség tehát egymilliárd év alatt megközelítőleg egy százalékát teszi ki a Nap teljes tömegének. A fúziós energiatermelés mintegy 5 milliárd éve tart szinte változatlan intenzitással, s a csillagászok véleménye szerint a Napban lejátszódó magfúziós folyamatok még több mint 5 milliárd évig képesek szinte változatlan szinten fedezni az energiatermelést (*Campbell, 1977*).

A FÖLD NÖVÉNYZETÉNEK SUGÁRZÁSHASZNOSÍTÁSA

A légkör felső határára érkező sugárzásmennyiséget napállandónak vagy szoláris állandónak nevezik. Értékét a különböző források (*Gates, 1980; Budiko, 1984*) különbözőképpen adják meg. A megadott értékek általában 1350 és 1370 $J \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ változnak; mért értéke *Gates (1980)* szerint 1353 $J \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, míg a *Varga-Haszonits – Tölgyesi (1990)* által hazai adatok alapján számított érték 1354 $J \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$-nek adódott. Ha ez utóbbi értéket vesszük alapul, akkor az mondható, hogy a légkör felső határán minden négyzetméterre 1 másodperc alatt 1354 Joule energia érkezik.

Ismerve a szoláris állandó (I_o) értékét kiszámítható, hogy egy átlagos nap alatt, amikor 12 órát süt a Nap (decemberben ez Magyarországon megközelítőleg 8 óra, júliusban pedig 16 óra), mennyi energia érkezik a földfelszínre. Az egy nap alatt leérkező energiamennyiség (Q_{nap}) ekkor

$$Q_{nap} = I_o \cdot 3600 \cdot 12 = 58\,492\,800\ J \cdot m^{2} \cdot nap^{-1} \qquad (1)$$

ahol 3600 az 1 órában lévő másodpercek száma, 12 pedig a megvilágított órák száma. Ebből egyszerűen számítható az egy esztendő folyamán leérkező sugárzásmennyiség ($Q_{év}$) is, a napi energiamennyiség értékét megszorozva az év napjainak számával.

$$Q_{év} = Q_{nap} \cdot 365 = 2{,}13 \cdot 10^{10} \qquad (2)$$

A (2) egyenlettel meghatároztuk, hogy 1 m²-re 1 év alatt mennyi energia érkezik. Mivel ismert a Föld felszínének nagysága, ami kerekítve 510 millió km², vagyis $5{,}1 \cdot 10^{14}$ m², kiszámítható, hogy mennyi energia érkezhet a Föld Nap által megvilágított felületére, tehát a Föld felszínének a felére 1 év alatt. A Földnek mindig csak az egyik felét világítja meg a Nap, ezért a kapott érték a földfelszínre egy év alatt érkező sugárzásmennyiséget ($Q_{Föld}$) jelenti.

$$Q_{Föld} = Q_{év} \cdot \frac{5{,}1 \cdot 10^{14}}{2} = 2{,}13 \cdot 10^{10} \cdot$$

$$\cdot 2{,}55 \cdot 10^{14} = 54{,}3 \cdot 10^{23}\ J \cdot év^{-1} \qquad (3)$$

Ennek a Föld megvilágított felére érkező sugárzásnak csak mintegy a fele ($27{,}15 \cdot 10^{23}$ J·év⁻¹) éri el a földfelszínt, mert a sugárzás egy részét a felhőzet és a légköri molekulák visszaverik, más részét pedig elnyelik. Ennek a sugárzásnak is csak mintegy a fele (0,55 része) – az ultraibolya és az infravörös sugarak közötti tartomány – az, amely a fotoszintézis során hasznosítható. A felszínre érkező fotoszintetikusan aktív sugárzás tehát megközelítőleg $15 \cdot 10^{23}$ J/évnek adódik.

Becslések szerint (*Hall – Rao, 1983*) az autotróf növények $2 \cdot 10^{11}$ tonna biomasszát állítanak elő évente, amelyben a kémiailag megkötött energia mennyisége (Q_{BIO}) úgy számítható ki, hogy a képződött szerves anyag mennyiségét (M_{BIO}) megszorozzák az egységnyi szerves anyag előállításához szükséges energiamennyiséggel (Q_o), amelynek átlagos értéke 1 g szerves anyagra számítva 17 000 J (*Penman, 1975; Petr et al., 1985*). Mivel itt a szerves anyag mennyisége tonnában (1 t = 10^6 g) van megadva, az 1 t szerves anyag előállításához szükséges energia: $17 \cdot 10^9$ J, vagyis az 1 év alatt képződött biomassza által megkötött energiamennyiség:

$$Q_{BIO} = M_{BIO} \cdot Q_o = 2 \cdot 10^{11} \cdot 17 \cdot 10^9 =$$
$$= 3{,}4 \cdot 10^{21}\ J \cdot év^{-1} \qquad (4)$$

Miután ismert a földfelszínre érkező fotoszintetikusan aktív sugárzás mennyisége és az autotróf növények által termelt biomasszában kémiailag megkötött energia mennyisége, a növények által hasznosított sugárzás arányát, az úgynevezett sugárzáshasznosulási (efficiencia) együttható (ε) egyszerűen kiszámítható:

$$\varepsilon = \frac{Kémiailag\ megkötött\ energia}{Földfelszínre\ érkezett\ energia} \qquad (5)$$

A hasznosulás tehát ebben az esetben azt jelenti, hogy a földfelszínre érkező összes fotoszintetikusan aktív sugárzásmennyiség hányad része kötődik kémiailag a fotoszintézis során. A sugárzáshasznosulás értéke az egész Földre vonatkoztatva tehát

$$\varepsilon = \frac{3{,}4 \cdot 10^{21}}{15 \cdot 10^{23}} = 0{,}0023 \qquad (6)$$

vagyis százalékban kifejezve a Földre érkező fotoszintetikusan aktív energiának csak 0,23%-a hasznosul.

A SUGÁRZÁSHASZNOSULÁS ÉS AZ ÉLELMISZER-TERMELÉS

Hall – Rao (1983) 4,3 milliárd ember számára a szükséges évi élelmiszer-mennyiséget 800 millió tonnára becsülte, amelynek energiaértéke: $800 \cdot 10^6 \cdot 17 \cdot 10^9 = 13{,}6 \cdot 10^{18}$·J·év⁻¹-nek felel meg. Ezt figyelembe véve, az évi szervesanyag-termelés során megkötött energiából ($3{,}4 \cdot 10^{21}$ J·év⁻¹) az emberiség $13{,}6 \cdot 10^{18}$ J·év⁻¹ mennyiséget hasznosítva termelhette meg a szükséges élelmet, így a hasznosulás mértéke

$$\varepsilon = \frac{13{,}6 \cdot 10^{18}}{3{,}4 \cdot 10^{21}} = 0{,}004 \qquad (7)$$

vagyis 0,4%. Tehát a valamivel több mint 4 milliárd ember élelmiszer-szükséglete az egész év során megkötött energiának még fél százalékát sem teszi ki. Feltételezve – mivel közel 4 milliárd ember élelmezéséhez 800 millió tonna élelem szükséges –, hogy minden további 1 milliárd ember újabb 200 millió tonna élelmet igényelne, a jelenleg élő kb. 7 milliárd ember növényi biomasszával való ellátásához az összes fotoszintetikusan megkötött energia 0,7%-a szükséges. (Ez az arány valamelyest növekszik, ha figyelembe vesszük, hogy a népesség élelmezéséhez szintén szükséges állati biomassza növényi biomasszából történő előállítása csak plusz energiaráfordítással valósítható meg.)

Természetesen az elmondottakból nem következik, hogy a népességnövekedésből származó problémák megkerülhetők. Egyrészt ugyanis célszerű lenne, ha az élelmiszer-szükségletet mindig ott állítanák elő, ahol arra igény van, vagy ha ez nem lehetséges, akkor ott rendelkezzenek olyan pénzügyi fedezettel, amely biztosítja az élelmiszer-szükséglet külső forrásokból történő beszerzését. Másrészt a megnövekedett népesség számára munkát kell biztosítani, ki kell elégíteni vízszükségletét stb. Mindemellett az ilyen körülmények között még nagyobb erőfeszítést kíván a környezetbe harmonikusan illeszkedő termelés megvalósítása, s egyáltalán az egészséges környezet fenntartása.

A SUGÁRZÁS HASZNOSULÁSA AZ EGYES KONTINENSEKEN

A Föld felszínére érkező sugárzásmennyiség ($27{,}15 \cdot 10^{23}$ J·év^{-1}) hozzávetőlegesen 9,3%-a terméketlen területre, 20%-a erdőre, füves területre és művelt területre, több mint 70%-a pedig a tengerekre és óceánokra jut (*Hoffmann, 1987*). Felmerül tehát, hogy a szárazföldeket célszerű külön is megvizsgálni, hiszen ott állítják elő az emberiség számára szükséges élelmet.

Ilyen jellegű vizsgálatokat *Jefimova (1977)* végzett. Vizsgálatai alapján megállapítható volt, hogy a sugárzáshasznosulás függ egyéb külső tényezőktől is, elsősorban a nedvességellátottságtól. Ismeretes ugyanis, hogy a fotoszintézis során a növény szén-dioxidból és vízből állít elő szénhidrátot. Mivel a légköri szén-dioxid viszonylag állandó mennyiségben áll rendelkezésre, a víz az a tényező, amely a sugárzáshasznosulást erősen befolyásolja. Az egyes kontinensekre az 1. táblázatban látható sugárzáshasznosulási átlagértékeket kapta.

1. táblázat
A zöld növények sugárzáshasznosítása a kontinenseken

Kontinens	Sugárzáshasznosulás
Európa	1,26%
Dél-Amerika	1,13%
Észak-Amerika	0,94%
Ázsia	0,88%
Afrika	0,59%
Ausztrália (Új-Guinea)	0,44%
A kontinensek átlaga	0,87%

Forrás: Jefimova (1977)

Az 1. táblázat érdekessége, hogy a nem túlságosan nagy sugárzási energiabevétellel rendelkező Európában található a legnagyobb átlagos hasznosulás. Ennek valószínűleg abban található a magyarázata, hogy Európa jelentős részén jó a nedvességellátottság. Elég magas a Dél-Amerikára kapott érték is. Itt azt szükséges megemlíteni, hogy a produktivitást a nedves trópusok erdői növelik nagymértékben. A kontinens többi részén azonban a nem megfelelő nedvességellátottság miatt nem érvényesül olyan mértékben az erősebb sugárzás hatása. Észak-Amerika esetében hangsúlyozandó, hogy a jobb nedvességellátottságú északibb területeken a sugárzáshasznosulás értéke 1,0-1,5%, ugyanakkor a kontinens délnyugati területein található félsivatagok és sivatagok területén csak 0,5%. Ez utóbbi miatt adódik a kontinensre vonatkozóan viszonylag alacsonyabb átlagérték. Az

ázsiai alacsonyabb érték is a mérsékelt övi félsivatagok és sivatagok viszonylag nagy kiterjedésével magyarázható. Emellett a jó nedvességellátottságú északibb területeken a sugárzáshasznosulás 1,0-1,5%, a délkelet-ázsiai monszunesők területén pedig 1,5-2,0%. Végül az afrikai és ausztráliai nagyon alacsony értékek ugyancsak a nagy kiterjedésű sivatagos területekkel magyarázhatók, s arról tanúskodnak, hogy nedvesség hiányában a sugárzási energia kihasználatlan marad.

A bemutatott adatok azt bizonyítják, hogy az egyes kontinensekre számolva a sugárzáshasznosulást, jobb eredmények adódnak, mint amit a Föld egészére meghatároztak.

A MAGYARORSZÁGI GAZDASÁGI NÖVÉNYEK SUGÁRZÁSHASZNOSÍTÁSA

A sugárzási energia és a terméshozam értékek folyamatos megfigyelése lehetővé teszi a magyarországi gazdasági növények sugárzáshasznosulásának meghatározását (*Varga-Haszonits et al., 1999*). A 2. táblázatban látható értékek 14 megye (Békés, Pest, Hajdú-Bihar, Győr-Moson-Sopron, Tolna, Bács-Kiskun, Heves, Borsod-Abaúj-Zemplén, Szabolcs-Szatmár-Bereg, Baranya, Csongrád, Jász-Nagykun-Szolnok, Vas és Zala) 1951 és 2000 közötti adatain alapulnak, az élelmezés szempontjából – közvetlenül vagy közvetetten, takarmánynövényként – fontos négy szántóföldi növény: az őszi búza, az őszi árpa, a kukorica és a burgonya sugárzáshasznosítását vizsgálva.

2. táblázat
Az élelmezés szempontjából fontos négy növény sugárzáshasznosításának statisztikai jellemzői (1951–2000)

Növény	Max	Átlag	Min
Burgonya	4,10	2,63	0,91
Kukorica	1,62	0,96	0,25
Őszi árpa	1,51	0,93	0,41
Őszi búza	1,53	0,88	0,33

Forrás: saját vizsgálat

Látható a 2. táblázatból, hogy a három gabonanövény sugárzáshasznosítása csak kis mértékben tér el egymástól. A három közül átlagértékben is és maximumértékben is a kukorica mutatja a legmagasabb értéket. Átlagértékben az őszi árpa magasabb értéket mutat, mint az őszi búza. Ugyanakkor az őszi búzánál magasabb a maximum- és alacsonyabb a minimumérték, mint az őszi árpánál, azaz tágabb intervallumon belül ingadozik. A négy növény közül a burgonya hasznosítja legjobban a sugárzást. Ez mind a három statisztikai értékben megmutatkozik.

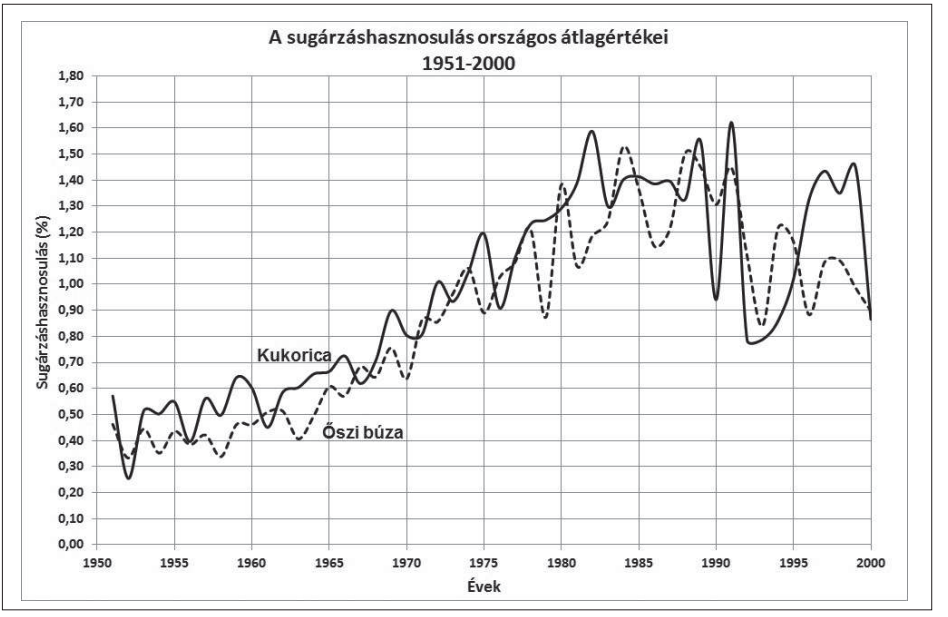
A három gabonanövény sugárzáshasznosulásában évről évre történő változások is hasonlóképpen zajlanak le. Csak egészen kis mértékben különböznek egymástól az időbeli ingadozások is, amint azt a kukorica és az őszi búza sugárzáshasznosulási értékei mutatják (1. ábra).

A görbe alakját meghatározza az 1960-as évektől számítható emelkedés, amely az intenzív fajták termesztésbe történő fokozatos bevezetésének és a tápanyagellátás jelentős javításának az eredménye. Az emelkedés az 1980-as évek végéig tartott. Az 1990-es évek elején az agrotechnológiai eljárásokban végbement kedvezőtlen változások miatt a növények sugárzáshasznosítása romlott. Mivel a terméseredmények szoros lineáris kapcsolatban vannak a sugárzáshasznosulással (mint azt majd a 3. ábra mutatja), ebben az időszakban a terméshozamok is visszaestek.

A négy vizsgált növény közül a burgonya hasznosítja legjobban a sugárzást, s ez megmutatkozik az évről évre történő változásokban is. Ez látható a 2. ábrán, amely azt is érzékelteti, hogy a burgonyánál is hasonló emelkedő és süllyedő szakaszok mutathatók ki, hasonló okok miatt. Mivel a három gabonanövény közel azonos módon hasznosítja a sugárzást, közülük egy, a kukorica került kiválasztásra, s annak évenkénti változásait hasonlítottuk össze a burgonya évenkénti változásaival. Ezt mutatja a 2. ábra, amelyen jól kivehető, hogy bár az időbeli változások nagy hasonlóságot mutatnak a két növény-

I. ábra

A kukorica és az őszi búza sugárzáshasznosulási értékeinek évenkénti változásai



Forrás: saját vizsgálat

nél, azonban a burgonya nagyobb mértékben képes hasznosítani a rendelkezésre álló sugárzásmennyiséget.

A négy növényre kapott hasznosulási értékek a vizsgált időszak végén nem csak az 1980-as évek hazai sugárzáshasznosulási értékeihez képest estek vissza jelentősen, de az utóbbi 20 évre vonatkozó hasonló jellegű nemzetközi adatoktól (pl. *Kooman et al., 1996; O`Connell et al., 2004; Muurinen – Peltonen-Sainio, 2006; Fletcher et al., 2008; Singer et al., 2011*) is elmaradnak. Ez azt mutatja, hogy a Magyarországon tapasztalható csökkenés a hazai mezőgazdaság helyzetére vezethető vissza, s nem a meteorológiai viszonyok alakulásának következménye.

AZ ELMÉLETILEG LEHETSÉGES MAXIMÁLIS SUGÁRZÁSHASZNOSULÁS

Felmerül a kérdés, hogy mekkora a lehetséges maximális sugárzáshasznosulás (ε). Erre a kérdésre két kiindulópontból közeledve adható válasz. Az egyik út – *Burgos (1986)* gondolatmenete alapján – a földfelszínre érkező sugárzás felhasználásának becsült értékéből következtet a maximálisan lehetséges sugárzáshasznosulás értékére. A másik út – *Campbell (1977)* gondolatmenete alapján – a fotoszintetikusan aktív sugárzás középső hullámhosszához tartozó fotonok energiáját veti össze az 1 molnyi anyagban megkötött energia mennyiségével.

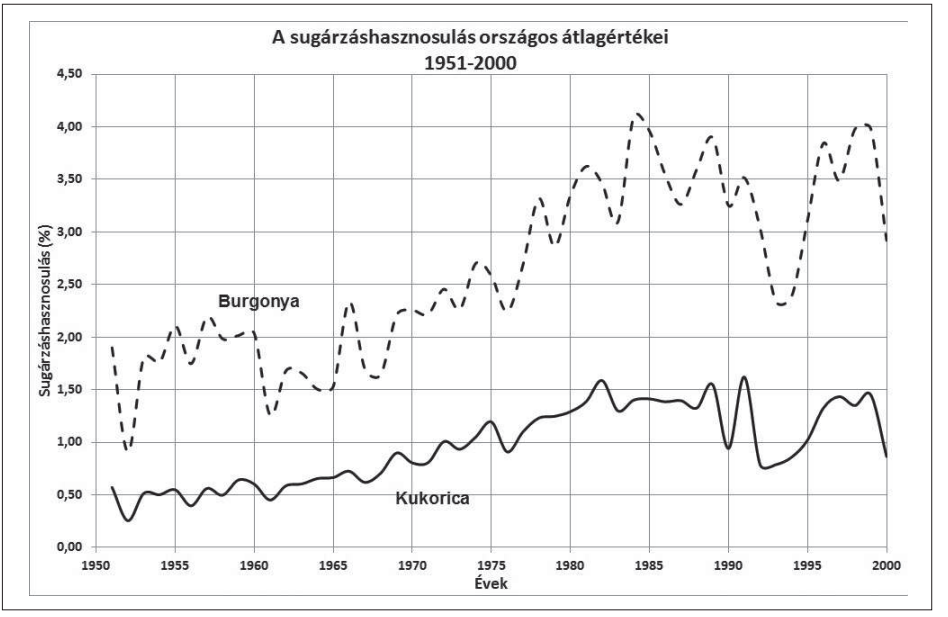
1. A *Burgos-féle* gondolatmenet lépései a következők:

a) A fotoszintetikusan aktív sugárzás a földfelszínre érkező sugárzás mintegy 45-55%-át teszi ki. Példaképpen ennek alsó határát alapul véve, tehát a 45%-ot, ennyi érkezik a növényállományok felső határára.

b) Ebből a sugárzási energiából mintegy 5-10%-nyi visszaverődik a növényállományról (*Jones, 1983; Rosenberg et al., 1983*). A visszavert érték jelen esetben 10%, akkor

2. ábra

A burgonya és a kukorica sugárzáshasznosulási értékeinek évenkénti változásai



Forrás: saját vizsgálat

a növényállományok számára már csak 35% áll rendelkezésre.

c) A növények életfolyamataik lebonyolításához is energiát igényelnek, amelyet a már megkötött energiának a légzés során felszabadított részével fedez a növényállomány. Ezt az energiamennyiséget a fotoszintézis által megkötött teljes energiamennyiség egyharmadára becsülik (*Burgos, 1986*). Vagyis a *b)* pontban meghatározott energiamennyiségnek mintegy 11-12%-a az életfolyamatok fenntartására fordítódik. Így végül hozzávetőlegesen a növényállományra érkező sugárzásnak maximálisan mintegy 23-24%-a az, ami a fotoszintézis során hasznosul.

Eszerint az ε elméletileg lehetséges maximális értéke 0,24.

2. A maximálisan lehetséges sugárzáshasznosulás becslése a *Campbell-féle (1977)* gondolatmenet alapján:

Amint ismeretes, a sugárzási energia diszkrét mennyiségek, kvantumok formájában terjed. *Planck törvénye* alapján egy foton energiája (E) a következő összefüggéssel adható meg:

$$E = hv = \frac{hc}{\lambda} \qquad (8)$$

ahol h a Planck-állandó, amelynek értéke $6{,}626 \cdot 10^{-34}$ J·s^{-1}, v a rezgésszám, amely kifejezhető a sugárzás terjedési sebességének és hullámhosszának arányával, amelyben a sugárzás terjedési sebessége ugyancsak állandónak tekinthető, s értéke: $c = 3 \cdot 10^8$ m·s^{-1}.

Egy molnyi anyagmennyiséggel számolva, a (8) egyenletet meg kell szorozni az *Avogadro-számmal*, aminek értéke: $N = 6{,}023 \cdot 10^{23}$. Ekkor

$$E = \frac{Nhc}{\lambda} = \frac{0{,}119725194}{\lambda} \qquad (9)$$

A (9) egyenletbe behelyettesítve az egyes hullámhosszak méterben (1 nm = 10^{-9} m) kifejezett értékeit, a hozzájuk tartozó fotonok energiamennyisége kiszámolható.

A fotoszintetikusan aktív sugárzás tartományát különböző szerzők különbözőképpen adják meg. Vannak szerzők, akik a 400–700 nm közötti sávot, vannak, akik a 380–750 nm közötti sávot, mások pedig a 380–710 nm közötti sávot tekintik fotoszintetikusan aktívnak. A sáv megadásánál a felső határnak van nagyobb jelentősége, mert amint a (9) és (10) egyenletből is látható, a foton energiatartalma és a hullámhossz között fordított arányosság áll fenn. Tehát a hosszabb hullámhosszak kisebb energiát hordoznak.

Felmerül ezért az a kérdés, hogy mennyi az a legkisebb energiamennyiség, amely a fotokémiai reakciók kiváltásához szükséges. Ez *Gorisina (1979)* szerint 147 kJ·mol^{-1}, *Campbell (1977)* szerint 150 kJ·mol^{-1}, *Hoffmann (1977)* szerint viszont 180 kJ·mol^{-1}. Ez viszont azt jelenti, hogy a szerzők többsége szerint már a 800 nm hullámhosszúságú sugárzás is aktív már fotoszintetikusan. A 750 nm felső határ esetén ez az érték 160 kJ·mol^{-1}, 710 nm esetén pedig 170 kJ·mol^{-1}. Mivel a fotoszintézishez szükséges szén-dioxid felbontásához 531 kJ·mol^{-1}, a víz (H_2O) felbontásához pedig 498 kJ·mol^{-1} energiára van szükség, a fotoszintézis beindításához legalább 4 mol foton energiája szükséges. A valóságban azonban csak 8 mol foton energiája képes kiváltani a fotoszintézis megindulását (*Gorisina, 1979*).

A maximális sugárzáshasznosulás úgy számítható ki, hogy a fotoszintetikusan aktív sugárzás 380 nm és 710 nm közötti sávját veszik alapul. A tartomány középső hullámhosszának az 545 nm hullámhossz felel meg, ahol 1 mol foton energiája a (9) egyenlet szerint 269 kJ·mol^{-1}. Mivel a fotoszintézishez 8 mol foton energiája szükséges, ezért a fotoszintézis során elnyelt energiamennyisége: 8·269 = 2152 kJ·mol^{-1}. Ugyanakkor a fotoszintézis során képződött 1 mol szénhidrát (CH_2O) 470 kJ·mol^{-1} energiát köt meg. A hatékonyság tehát:

$$\varepsilon = \frac{Felhasznált\ energia}{Összes\ elnyelt\ energia} = \frac{470}{2152} = 0{,}22 \qquad (10)$$

vagyis 22%, vagyis az előző gondolatmenettel kapott hasznosuláshoz nagyon közeli érték.

Az is megállapítható, hogy az elméletileg lehetséges sugárzáshasznosulástól jelentősen elmaradó ε-értékek jellemzik Magyarország szántóföldi növénytermelését.

A NAPSUGÁRZÁS ÁTALAKULÁSA SZERVES ANYAGGÁ

A Napból a Föld felszínére érkező sugárzási energia a talaj és a levegő felmelegítésére, a talajban és a talaj felszínén lévő víz elpárologtatására, valamint fotoszintézisre használódik fel. Ez utóbbi – amint a korábbiakból látható – nagyon kicsi érték, tényleges értékének meghatározásához – mint ahogyan azt a fentiekben is történt – a sugárzáshasznosulás elemzéséből érdemes kiindulni.

A földfelszínre érkező sugárzás fotoszintetikusan aktív része a Q_{FA} energiamennyiség. Az egységnyi szerves anyag (biomassza) képződéséhez átlagosan Q_0 = 17 000 J·g^{-1} energiamennyiség szükséges (*Penman, 1975; Petr et al., 1985*). Tehát adott energiamennyiség annyi szerves anyagot képes előállítani, ahányszorosa az adott energiamennyiség a Q_0-értéknek. Azonban – mint az előzőekben említésre került – nem minden energiamennyiség alakul át szerves anyaggá, hanem annak csak egy meghatározott része (ε). A képződött biomasszamennyiség tehát:

$$Y_{BIO} = \varepsilon \cdot \frac{Q_{FA}}{Q_0} \qquad (11)$$

Ha feltételezzük, hogy az ε = 1, akkor minden energia szerves anyaggá alakulna, vagyis az adott helyen ez jelentené a termés éghajlati potenciálját. Mivel azonban a napsugárzás energiája egyéb célokra (talaj felmelegítése, levegő felmelegítése, a víz párologtatása stb.) is felhasználódik, az ε_{max} mindig jelentősen kisebb, mint 1. Az is

nyilvánvaló, hogy az sem fordulhat elő, hogy semennyi energia nem fordítódik fotoszintézisre, tehát hogy a sugárzáshasznosulás $\varepsilon = 0$ legyen, mert akkor nem volnának zöld növények és így nem volna élet sem. Az ε tehát 0 és 1 közötti értéknek adódik.

A (11) egyenletből következik, hogy egyenes arányú összefüggés van a sugárzáshasznosulás és a képződött biomassza mennyisége között, s így a sugárzáshasznosulás és a terméshozam között. A sugárzáshasznosulás és a terméshozamok között 14 megye alapján kapott összefüggések korrelációs koefficiensei 0,99 és 1 közötti értékek. Az őszi búzára vonatkozóan a 3. ábra mutatja a 14 vármegye adatai alapján kapott összefüggést.

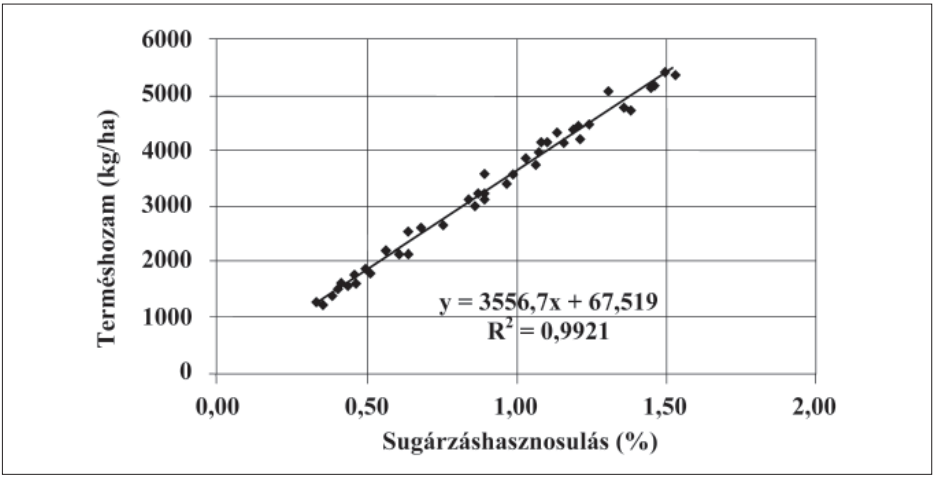
KÖVETKEZTETÉSEK

A magyarországi mezőgazdasági termelés jelentős részét adó és a szántóterületek nagyobbik részét elfoglaló négy fontos gazdasági növény sugárzáshasznosítása alapvetően befolyásolja a termelőtevékenység gazdaságosságát. A (11) összefüggésből látható, hogy a terméshozamok alakulása elsődlegesen az ε értékének változásaival függ össze, hiszen az azt befolyásoló egyéb tényezők konstansnak vehetők vagy csak kismértékű változásokat mutatnak évről évre. A növények sugárzáshasznosulásának javítása nagyjából hasonló arányú termésnövekedést indukál. Figyelembe véve továbbá, hogy a ténylegesen elért átlagos hasznosulási értékek (0,8-2,6%) csupán 5-10%-át jelentik a potenciális sugárzáshasznosulásnak (22-24%) az mondható, hogy ez a komplex növényi jellemző még bőven fejleszthető, s viszonylag csekély, pár tized százalékos sugárzáshasznosulás-növekedéssel a terméshozamok hektáronkénti akár több 100 kg-os javulása érhető el.

A maximális hatékonyság érdekében viszont szükséges a sugárzáshasznosulás javulását eredményező különböző gyakorlati (nemesítési vagy agrotechnológiai) eljárásokat együttesen, komplex módon alkalmazni. Ezek az eljárások éppúgy magukban foglalják a jobb genetikai adottsággal rendelkező fajták, hibridek kiválasztását vagy a lejtők adta mezoklimatikus lehetőségek kihasználását, mint a sugárzást felfogó levélfelület optimális időbeli és térbeli alakulását elősegítő agrotechnológia használatát, a köztes termesztést, takaróanyagok felhasználását vagy akár mesterséges sugárzás használatát

3. ábra

Összefüggés az őszi búza sugárzáshasznosulása és terméshozama között



Forrás: saját vizsgálat

is, bár ez utóbbit inkább csak kifejezetten intenzív kultúrákban.

A négy vizsgált növény sugárzáshasznosulása alakulásának időbeli trendjei is azt mutatják, hogy az utóbbi években az agrotechnológia komplex alkalmazása nem volt kielégítő, mert nem segítette elő a korábbiakhoz hasonló mértékben a sugárzási energia megfelelő mértékű hasznosítását.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

(1) Budiko, M. I. (1984): Evolucija bioszferi. Gidrometeoizdat, Leningrád – (2) Burgos, M. (1986): Equilibrium and extreme climatic conditions of world's biomes and agrosystems. Land Use and Agrosystem Management under Severe Climatic Conditions, WMO Technical Note No. 148 12-56. pp. – (3) Campbell, I. M. (1977): Energy and atmosphere. A physical-chemical approach. John Wiley and Sons LTD, London – (4) Fletcher, A. L. – Moot, D. J. – Stone, P. J. (2008): Radiation use efficiency and leaf photosynthesis of sweet corn in response to phosphorus in a cool temperate environment. European Journal of Agronomy, 29, No. 2-3 88-93. pp. – (5) Gates, M. (1980): Biophysical Ecology. Springer Verlag, Berlin – (6) Gorisina, T. K. (1979): Ekoligija rasztyenyij. Viszsaja Skola, Moszkva – (7) Hall, D. O. – Rao, K. K. (1983): Photosynthesis. Third edition. (Orosz fordítás) Mir, Moszkva – (8) Hoffmann, P. (1987): Fotoszintézis. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest – (9) Jefimova, N. A. (1977): Radiacionnije faktori produktyivnosztyi rasztyityelnovo pokrova. Girometeoizdat, Leningrád – (10) Jones, H. G. (1983): Plants and Microclimate. Cambridge University Press, Cambridge – (11) Kooman, P. L. – Fahem, M. – Tegera, P. – Haverkort, A. J. (1996): Effects of climate on different potato genotypes 1. Radiation interception, total and tuber dry matter production. European Journal of Agronomy, 5, No. 3-4 193-205. pp. – (12) Muurinen, S. – Peltonen-Sainio, P. (2006): Radiation-use efficiency of modern and old spring cereal cultivars and its response to nitrogen in northern growing conditions. Field Crops Research, 96, No. 2-3 363-373. pp. – (13) O'Connell, M. G. – O'Leary, G. J. – Whitfield, D. M. – Connor, D. J. (2004): Interception of photosynthetically active radiation and radiation-use efficiency of wheat, field pea and mustard in a semi-arid environment. Field Crops Research, 85, No. 2-3 111-124. pp. – (14) Penman, H. L. (1975): Water as factor in productivity. In: Potential Crop Production, A Case Study. Ed. by P. F. Wareing and J. P. Cooper, Heinemann Educational Books, London, 89-99. pp. – (15) Petr, J. – Cerny, V. – Hruska, L. (szerk.) (1985): A főbb szántóföldi növények terméspképződése. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest – (16) Rosenberg, N. J. – Blad, B. L. – Verna, S. B. (1983): Microclimate the Biological Environment. John Wiley and Sons, New York – (17) Singer, J. W. – Meek, D. W. – Sauer, T. J. – Prueger, J. H. – Hatfield, J. L. (2011): Variability of light interception and radiation use efficiency in maize and soybean. Field Crops Research, 121, No. 1 147-152. pp. – (18) Varga-Haszonits Z. – Tölgyesi L. (1990): A globálsugárzás és a fotoszintetikusan aktív sugárzás számítása rövid időszakokra. Beszámolók az 1986-ban végzett tudományos kutatásokról, OMSz, Budapest, 109-132. pp. – (19) Varga-Haszonits Z. – Varga Z. – Lantos Zs. – Schmidt R. – Vámos O. (1999): A fontosabb gazdasági növények sugárzáshasznosítása Magyarországon. Növénytermelés, 48, No. 2. 189-197. pp.