



AZ ÉGHAJLAT-NÖVÉNY MODELLEK MÓDSZERTANI ALAPJAI

VARGA-HASZONITS ZOLTÁN¹ – LANTOS ZSUZSA² – SZAKÁL TAMÁS¹

¹Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar,
Mosonmagyaróvár

²Miskolci Egyetem, Matematikai Intézet, Analízis Tanszék,
Miskolc

ÖSSZEFOGLALÁS

Az éghajlat gazdasági növényekre gyakorolt hatását a folyamatosan változó légköri tényezők hosszabb időszakra meghatározott értékeinek a produktivitást befolyásoló tevékenysége jelenti. Ez bonyolult összetevőkből álló rendszer. Ezt a rendszert holland kutatók három produktivitási szintre egyszerűsítették le. Az első szint a potenciális produktivitás szintje, amikor minden hatótényező optimális. A második szint az elérhető produktivitás szintje, amikor vagy a víz vagy a tápanyag ellátás vagy mindkettő korlátozott mértékben áll rendelkezésre. A harmadik szint a tényleges produktivitás szintje, amely magába foglalja nemcsak az optimális és korlátozó produktivitási tényezőket, hanem a produktivitást redukáló tényezőket (gyomok, betegségek, járványok) is.

Ezt a rendszert kell modellezni oly módon, hogy kiválasztjuk a hatótényezőket. A hatótényezők kiválasztásának egyik lehetséges módja az érzékenység elemzés. Ennek alapján a modell felépíthető, majd kalibrálni, végül verifikálni kell.

Vannak statisztikai modellek, dinamikus modellek és vegyes modellek. Ebben a munkában a modellépítést az éghajlati elemek őszi búza terméshozamára gyakorolt hatását vizsgáló vegyes modellen mutattuk be.

Kulcsszavak: rendszer, produktivitási szint, érzékenység vizsgálat, modelltípus.

BEVEZETÉS

A gazdasági növények termesztése nagymértékben függ a környezeti viszonyoktól. Közülük is a legváltozékonyabb meteorológiai viszonyok gyakorolják a legerősebb hatást a gazdasági növények életére. Az agroklimatológiai analízis elsődrendű célja ezért ennek a hatásnak és ok-okozati alapjainak a felderítése.

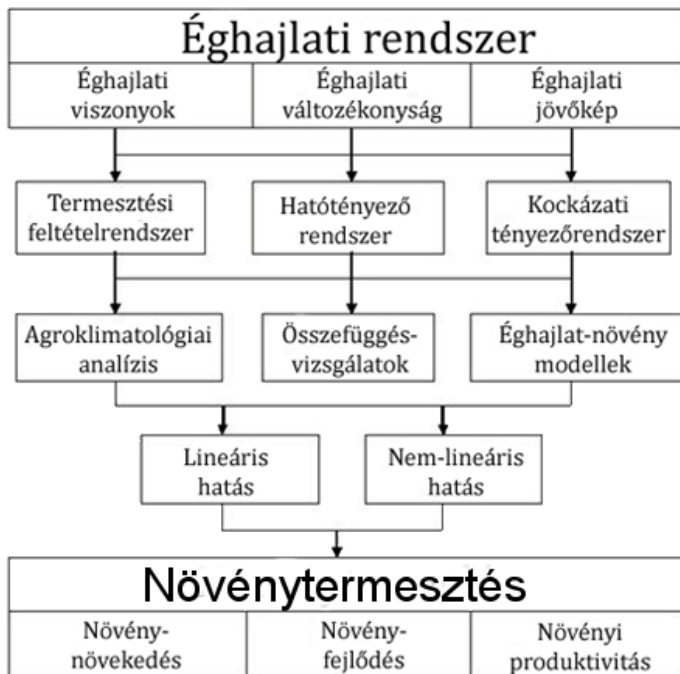
Ennek a vizsgálatnak a társadalmi fontosságát egyrészt az emberiség létszámának folyamatos emelkedése helyezi előtérbe, mert egyre több embert kell ellátni étellel. Másrészt az ipari forradalom kezdete óta a légkör szén-dioxiddal való folyamatos terhelése miatt fellépő üvegházhatás következtében növekszik a Föld középhőmérséklete, emiatt pedig növekszik egy esetleges éghajlatváltozás lehetősége. Ez viszont a gazdasági növényekre gyakorolt éghajlati hatás miatt ismét az élelmiszertermelés és az élelmiszerellátás viszonyainak megváltozását vonja maga után.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Az éghajlati tényezők gazdasági növényekre gyakorolt hatásának vizsgálatokor egy bonyolult rendszert kell elemeznünk, amelyet fő vonalaiban a következő formában tudunk áttekinteni (*1. ábra*).

Éghajlati viszonyok

Egy adott helyen a meteorológiai elemek és azok egymáshoz kapcsolódásai jelentik a légköri viszonyokat, hosszabb időszak alatt pedig az éghajlati viszonyokat. A légköri viszonyok azonban térben és időben folyamatosan változnak, ezért az éghajlati viszonyok a hosszabb időszak alatt létrehozott légköri viszonyokat jelentik, amelyeknek az adott határok közötti változását és a változások által kialakított összképet is magukba foglalják.



1. ábra. Az éghajlat hatása a növénytermelésre.
 Figure 1. The effect of climate on plant breeding.

Az éghajlat jövőbeli alakulásának előrejelzése napjainkban még nem megoldott feladat. Az éghajlat egy adott állapota meghatározott valószínűséggel különböző jövőbeli állapotokba mehet át. Hogy ezekből melyik realizálódik az a kiindulási időszakban nem adható meg egyértelműen. Ezért az éghajlat várható jövőbeli alakulását forgatókönyvek (szcenáriók) segítségével adják meg. A forgatókönyv az éghajlat egy lehetséges jövőbeli állapotát írja le statisztikai paraméterek vagy szimulációs modellek segítségével.

Az agroklimatológia alapvető feladata, hogy a gazdasági növények tenyésztési időszak alatti éghajlati viszonyokat elemezze, a növények éghajlati elemek iránti igényének teljesülését vizsgálja, különös figyelmet fordítva a gazdasági növények extrém jelenségek iránti érzékenységre.

A növény számára ahhoz, hogy a növekedéséhez energiát tudjon felhasználni, vízre van szüksége, különben az energia csak felmelegíti a növényt és hőstresszt idéz elő. Hasonlóképpen, ha a növény a növekedéséhez vizet akar felhasználni, akkor energiára van szüksége, különben a víz egyszerűen a talajba szívárog, vagy a felszínen

felhasználatlanul elfolyik, elpárolog. Az éghajlat növényekre gyakorolt hatását ezért az energia és víz kölcsönhatása hatása határozza meg. (*Gates 1993*).

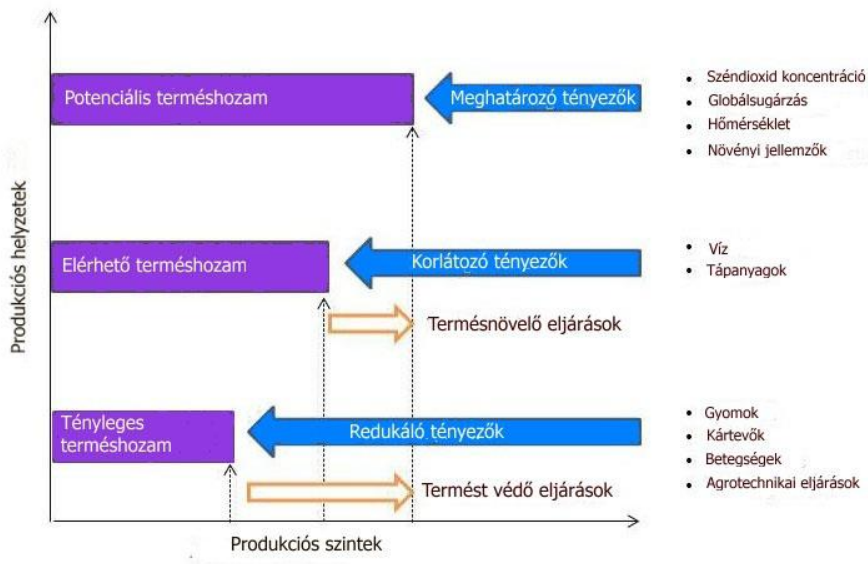
A légköri tényezőrendszer és a környezet

A légköri tényezők rendszere, hosszabb időszakot figyelembe véve az éghajlati tényezők rendszere alkotja a környezeti tényezők legváltozékonyabb rendszerét. Ezt a rendszert az agrometeorológia a növénytermesztés szempontjából vizsgálja. Ebből a szempontból a környezeti tényezők rendszerét az alábbiakban ismertetendő három alapvető csoportba lehet osztani.

A környezeti tényezők által meghatározott produktions szintek

Az 1980-as években a modellezés elméleti megalapozása során *de Wit (de Vries, van Laar 1982)* a terméshozamra ható környezeti négy produktions szintbe sorolta. A négy szintbe a légköri tényezőket, a vízháztartási tényezőket, a nitrogén ellátottságot, a foszfor ellátottságot és a tényleges állapotot helyezte. Ezen a felosztást később *van Keulen és Wolf (1986)*, *de Vries et al (1989)*, majd *Goudrian és van Laar (1994)* is módosította. Mi a módosított, három szintre redukált változatot alkalmaztuk (*I. ábra*), amely a következő produktions szinteket (produktions helyzeteket) veszi figyelembe:

1. Potenciális terméshozam szintje. Ebben a helyzetben nincsenek korlátozó tényezők és a termést alapvetően legfontosabb környezeti tényezők és a növényi jellemzők együttesen határozzák meg. A környezeti tényezők optimális állapotban állnak rendelkezésre.
2. Elérhető terméshozam szintje. Ebben a helyzetben már két fontos környezeti tényező: a víz és a tápanyagellátottság közül vagy az egyik vagy mindkettő korlátozott mennyiségben áll rendelkezésre. Emiatt itt már beavatkozás (öntözés vagy műtrágyázás alkalmazása) szükséges ahhoz, hogy a termés az előző szinthez közeli értékre hozzuk.
3. Tényleges terméshozam szintje. Ebben a helyzetben a környezeti természetes állapotban állnak rendelkezésre, ezért számolni kell a kedvezőtlen jelenségek fellépésével. A kedvezőtlen jelenségek bekövetkezése előtt vagy alatt alkalmazni kell termés védelme érdekében a növényvédelmi eljárásokat.



2.ábra. Produkciós szintek.
 Figure 2. Productivity levels.

A három produkciós szint tulajdonképpen a termésre ható környezeti tényezőket sorolja csoportokba aszerint, hogy egy környezeti tényező csoport milyen szinten van a termésbefolyásolás szempontjából. A légköri tényezők azért kerültek az első csoportba, mert azok állandóan változnak és hatnak a növényre, akkor is amikor a többi csoport tényezői kedvező szinten vannak.

Különbséget lehet még tenni a tényezők között aszerint is, hogy az első csoportba tartozó tényezők folyamatosan változnak, akkor is, ha a három másik tényezőcsoport kedvező szintet mutat, ezért ezeket termésbefolyásoló tényezőknél nevezzük. A második és harmadik csoportba tartozó tényezők elsősorban a kedvező szint alá csökkenésükkel korlátozzák a terméshozamokat. Ezért ezeket szokás terméskorlátozó tényezőknél is nevezni, míg az utolsó csoportba tartozó káros tényezők egyértelműen termés-csökkenítő vagy termést károsító hatást fejtenek ki, ezért ezeket termésredukáló (károsító) tényezőknél is nevezik.

Az agrometeorológiai vizsgálatok témakörébe tartoznak az első csoport növényi életet befolyásoló alapvető légköri hatótényezői (a sugárzás, a hőmérséklet) és a második csoportból egy másik alapvető tényező: a víz (csapadék, légnedvesség, párolgás, talajnedvesség). A víz – mint a talajban lévő hasznos víztartalom – rendelkezésre állhat

optimális mennyiségben és rendelkezésre állhat korlátozott mennyiségben is. Annak a megállapítása, hogy a víz mikor áll rendelkezésre optimális mennyiségben és mikor korlátozott mennyiségben azt a kritikus hasznos víztartalom segítségével lehet meghatározni.

A kritikus hasznos víztartalom különböző növényekre vonatkozó értékeit hazai adatokon Szalóky (1991) határozta meg.

Agroklimatológiai analízis

Az agroklimatológiai analízis során első lépésként meg kell határoznunk a termést befolyásoló alapvető meteorológiai tényezőket. Ennek legegyszerűbb formája, ha a növény szerves anyag gyarapodásának folyamatát ellenőrizzük. A növény szerves anyag gyarapodását a fotoszintézis során termelt szerves anyag mennyisége és a respiráció (légzés) során lebontott szerves anyag mennyisége közötti különbség mutatja. Vagyis

$$\Delta M = F - R$$

ahol ΔM a szervesanyag-gyarapodás nagysága, F a fotoszintézis által termelt szerves anyag és R (respiráció) a légzés során lebontott szerves anyag.

Ismeretes, hogy a fotoszintézis során a növény szén-dioxidból és vízből a napsugárzás energiájának a segítségével szénhidrátot állít elő. A légzés során lebontott szerves anyag mennyisége pedig elsősorban a hőmérséklettől függ. Ezenkívül mindkét biokémiai folyamat sebessége a hőmérséklettől függ. Az éghajlati tényezők közül tehát a szén-dioxid, a víz, a napsugárzás és a hőmérséklet az alapvető tényezők.

Szén-dioxid. Légköri koncentrációját hosszú ideig közel állandónak tekintették. Most a mennyisége ugyan változik, de annyi szén-dioxid van a levegőben, hogy nem tekinthető korlátozó tényezőnek. Azonban a folyamatosan növekvő légköri koncentrációja miatt, napjainkban már egyre több figyelmet fordítanak rá. Az éghajlat-termés vizsgálatokban viszont még ritkán veszik figyelembe, mert viszonylag kevés helyen és viszonylag rövid idő óta mérik, mennyiségét ezért adottnak veszik.

Napsugárzás. Az egyik legfontosabb éghajlati tényező, mert a napsugárzás szolgáltatja a szervesanyag-termeléshez szükséges energiát. A napsugárzást ugyancsak viszonylag kevés helyen mérik, mérési adataiból viszonylag rövid sorozatokkal rendelkezünk, igaz, hogy a napfénytartam adatokból egyszerűen számítható. Mivel a hőmérséklettel szorosan

összefügg, az éghajlat-növény kapcsolat vizsgálatában a helyette sok esetben az egyszerűbben mérhető és sok helyen rendelkezésre álló hőmérsékletet használják.

Kimutatható azonban, hogy az egyes gazdasági növények a sugárzás hasznosításában különböznek egymástól, az, hogy milyen mértékben hasznosítják a sugárzást alapvetően meghatározza a növények terméshozamait.

A napsugárzás az éven belül évszakos változásokat mutat, ezt a különböző tenészedejű növények esetében figyelembe kell venni. Az évek közötti változásokban is találhatóak süllyedő és emelkedő tendenciájú szakaszok, amit az éghajlat-növény kapcsolatok összefüggéseinek verifikálásánál, az éghajlatváltozékonyság elemzésénél és a terméslőrejelzéseknél számításba kell venni.

Víz. Kettős szerepet játszik a szervesanyag-termelésben. Egyrészt maga is anyaga a szénhidrátképzésnek, másrészt a növény számára szükséges ásványi anyagok vízben oldott állapotban jutnak el az asszimiláló szervekhez.

Ezért a növények vízigénye abban nyilvánul meg, hogy a gyökérzónában legyen elegendő, a növények által könnyen felvehető víz (talajnedvesség), benne oldott állapotban megfelelő mennyiségű tápanyag, legyen elegendő energia (transzspiráció), amely a vizet a gyökéren keresztül az asszimiláló szervekhez juttatja. Az agrometeorológiában a talaj és a növény együttes párolgását (evapotranszspirációját) mérjük vagy számítjuk.

A talajnedvesség és az evapotranszspiráció is meghatározott évi menetet mutat. A különböző növények tenészedőszak alatt ezért különböző változásokkal találkozhatunk. Az évek közötti változások is jelentős ingadozásokat mutatnak, amelyekben süllyedő és emelkedő tendenciájú szakaszok is előfordulnak, amelyeket a napsugárzás tárgyalásánál említett esetekben célszerű figyelembe venni.

A gazdasági növények ugyanis a vízhasznosításában is különböznek egymástól, s hogy hogyan hasznosítják a vizet, az szoros kapcsolatot mutat a terméshozamokkal.

Hőmérséklet. A hőmérséklet a biokémiai reakcióknak a sebességét befolyásolja. Egy meghatározott küszöbhőmérséklet (bázishőmérséklet) kell ahhoz, hogy meginduljon a folyamat, amely ha emelkedik egy újabb küszöbhőmérsékletig (optimum hőmérséklet), akkor vele együtt emelkedik a biokémiai reakciók sebessége is, majd ha még tovább emelkedik, akkor a biokémiai reakciók sebessége csökken, míg el nem ér egy hőmérsékletet, amely után a folyamat leáll.

Mindig meg kell vizsgálni azt is, hogy a növény tenyészideje alatt a növény bázishőmérséklete alatti vagy a növény maximum hőmérséklete feletti értékek előfordulhatnak-e. Ha előfordulnak, akkor azt vizsgáljuk, hogy ezek milyen károsító hatással vannak az adott növényre.

ÖSSZEFÜGGÉSVIZSGÁLATOK

A legfontosabb hatótényezők kiválasztása után azt is meg kell határozni, hogy e tényezők a vegetációs periódus mely időszakaiban fejtenek ki hatást az adott növényre. A növények éghajlati elemek iránti igényeinek ismeretében felismerhetők olyan időszakok, amelyek jelentősek a növény termése szempontjából, olyan időszak, amelyek kevésbé jelentősek.

Ha a tenyészidőszakot fenológiai szakaszok szerint vizsgáljuk, akkor azt tapasztaljuk, hogy azok hossza nagyon változó és hosszabb voltak alatt különböző meteorológiai hatások érvényesülnek, amelyek nehezen szétválaszthatók.

A naptári időszakok közül a hónapok ugyancsak különböző meteorológiai hatásokat foglalnak magukba. A napok pedig túlságosan rövidek és emiatt több napon át is ugyanazon hatás érvényesülhet. A két közbülső naptári időszak, a pentád és a dekad közül az utóbbi az, amely leginkább alkalmas egységes hatás kifejezésére, mivel a pentád még mindig elég rövid tartamú ahhoz, hogy egy hatást érvényesüljön.

Az elmondottak miatt a tenyészidőszak alatti hatások vizsgálatára a dekadot választottuk, rájuk vonatkozóan végeztük el az érzékenységi vizsgálatot.

Az elemzések egyik alapvető lépése a meteorológiai tényezők és a növényi életjelenségek közötti kapcsolat matematikai formában történő meghatározása. A tapasztalat azt mutatja, hogy a hatásoknak csak egy része lineáris, a jelentősebb része nem-lineáris. Ez azt jelenti, hogy a hatótényező egységnyi változása a hatást elszenvedő jelenség esetében az egységnél kisebb vagy nagyobb változást vált ki. A hatásváltozások a különböző értéktartományokban is különbözők lehetnek. Mivel pedig egyes elemek kölcsönös összefüggésben vannak egymással, egy tényező megváltozása maga után vonhatja más tényezők megváltozását is.

ÉGHAJLAT-NÖVÉNY MODELLEK

Az éghajlat-növény modelleknek három alapvető változata ismeretes (*Ritchie és Alagarswamy 2002*):

1) Statisztikus modellek: az adott növény vegetációs periódusa alatt – legalábbis annak egy rövid időszaka folyamán – ható meteorológiai elemek és a terméshozam között regressziós összefüggéseket határoznak meg. Ebben a modellben a meteorológiai tényezők állapotváltozóként jelennek meg, a bemeneti és kimeneti adatok között lejátszó folyamatok azonban nem ismeretesek (fekete doboz modell). Ezeket a modelleket szokás még empirikus modelleknek is nevezni.

2) Dinamikus modellek: ugyancsak az adott növény vegetációs periódusa alatt, kiválasztott rövidebb időszakokra (főleg napokra) a növény meteorológiai és nem-meteorológiai tényezőktől függő szerves anyag gyarapodását határozzák meg. Ebben a modellben a meteorológiai elemek ütemváltozók, mivel az időben végbemenő szerves anyag gyarapodás ütemét befolyásolják. A változások ok-okozati háttere lényegében megjelenik (Fehér doboz modell). Ezeket a modelleket szokás még mechanisztikus modelleknek is nevezni.

3) Vegyes modellek: általában bizonyos elméleti megfontolásokra épülnek, de a környezet és a növény (termés) közötti egyes kapcsolatok meghatározására empirikus összefüggéseket használnak (szürke doboz modellek). Ezeket a modelleket szokás még dinamikus-statisztikai modelleknek, fizikai-statisztikai modelleknek vagy funkcionális modelleknek is nevezni.

Érzékenységi vizsgálat

A környezettudományi irodalom áttekintése alapján megállapítható, hogy az éghajlati elemek okozta hatások vizsgálata esetében nincsen általánosan elfogadott módszer arra vonatkozóan, hogy az egyes éghajlati elemek változóira miként reagál a befolyásolt környezeti objektum.

A lineáris regresszió meghatározása

Mi a vizsgálatainkban két egyszerű módszert használtunk: az egyik a lineáris regressziós összefüggés meghatározása:

$$Y = a + bx$$

Az összefüggés differenciálhányadosa:

$$\frac{\Delta Y}{\Delta x} = b = SC$$

azt mutatja, hogy az x változó milyen mértékű befolyást gyakorol az Y változóra. A b tehát érzékenységi koefficiensnek (SC = sensitivity coefficient) tekinthető.

A lineáris regressziós függvény meghatározásának előnye, hogy megmutatja a független változó és a függő változó közötti kapcsolat szorosságát, amelyet a korrelációs együttható (r) értéke mutat. Ennek a négyzete (r^2) a determinációs együttható, amely arra ad választ, hogy a függő változó varianciájából milyen arányt magyaráz meg a független változó (Mundruczó 1981). A lineáris összefüggésben fontos a szerepe a regressziós együtthatónak (b) is, amely arra mutat rá, hogy a független változó (x) egységnyi változása, mekkora változást idéz elő a függő (Y) változóban. Azt mondhatjuk tehát, hogy a lineáris összefüggésben a b együttható értéke megfelel az érzékenységi együtthatónak (SC). Természetesen mivel az összefüggést idősorok alapján képezzük, a b együttható az adott időszakra vonatkozó átlagos értéket jelent.

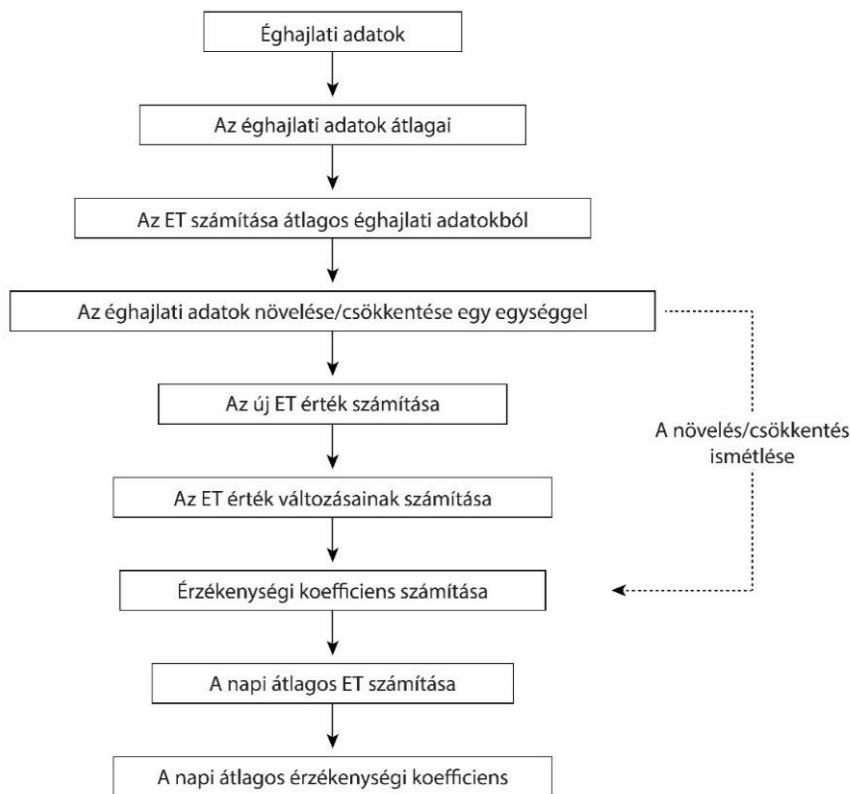
Az érzékenységi koefficiens meghatározása

Az agrometeorológiai és környezettudományi irodalomban számos módszert dolgoztak ki az érzékenységi koefficiens meghatározására. Nincsen azonban általánosan elfogadott érzékenységi koefficiens (Irmak et al. 2006; Debnath et al. 2015). Leggyakrabban a Smajstrla et al. (1987) és Irmak et al. (2006) által használt érzékenységi koefficiens alkalmazták, amely a következő formában írható:

$$SC = \frac{CH_{ETref}}{CH_{CV}} \quad (1)$$

ahol SC az érzékenységi koefficiens, CH_{ETref} a referencia evapotranszpiráció éghajlati elemek által okozott változása és CH_{CV} az éghajlati elem változása.

Az egyes földrajzi helyekre vonatkozó érzékenységi vizsgálatot célszerű Irmak et al. (2006) által alkalmazott eljárás szerint végezni. Az érzékenységi vizsgálati eljárás alkalmazásának folyamatát az 3. ábra mutatja be.



3.ábra: Az érzékenységi vizsgálat folyamata (Debnath et al. 2015).

Figure 3. The process of sensitivity analysis (Debnath et al. 2015).

Az elemzés során az eredményváltozót befolyásoló éghajlati elemek 3-5 évi adatsora alapján már lehet vizsgálatot végezni. A kiválasztott éghajlati adatsorokból kiszámítjuk az időszak átlagértékeit. Az éghajlati elemek adott időszakra vonatkozó elemeinek középértékeiből azután kiszámítjuk az eredményváltozó adott időszakra vonatkozó értékeit. Azután az 3.ábrán bemutatott folyamatot követve elvégezzük az érzékenységi vizsgálatot.

A modellek verifikálása és validálása

A modellezésben verifikáció és validáció általánosan használt fogalmak.

A verifikáció során a modellben használt összefüggésekkel kapott adatokat a ténylegesen mért adatokkal hasonlítjuk össze. A mért és számított adatok közötti összefüggés korrelációs koefficiense minél inkább közeledik az 1-hez, annál jobbnak tekinthető az alkalmazott módszer. A két adatsor közötti különbségek pedig azt mutatják meg, hogy a modellben használt összefüggések mennyire pontosak (*Mavi, Tupper 2004*).

A validálás azt jelenti, hogy megvizsgáljuk a tényleges adatok és a modellel meghatározott adatok között milyen különbségek adódnak. Akkor tekintjük a modellt hasznosnak és pontosnak, ha a mért adatok és a modellel meghatározott adatok közötti különbségek kicsik (*Mavi, Tupper 2004*), illetve ha a különbség egy gyakorlati szempontból meghatározott intervallumon belül van.

Az adatanyag felosztása

Az agroklimatológiai vizsgálatoknál az adatanyagot általában három részre célszerű osztani:

- egy olyan adattömegre, amelyen a modell paramétereit empirikusan meghatározzuk (bázis minta);
- egy olyan adattömegre, amelyen az empirikusan meghatározott értéket korrigáljuk (korrekciós minta);
- egy olyan adattömegre, amelyen az empirikusan meghatározott értékeket ellenőrizzük (teszt minta).

Általában – adathiány miatt – elegendő az adattömeget bázis mintára és teszt mintára felosztani. Az agroklimatológiában ez nagy könnyebbséget jelent, mivel nagyon ritkán számíthatnánk olyan nagyságú adattömegre, amelyet három részre osztva, az egyes részek a vizsgálatához szükséges számú elemet tartalmaznának.

Tekintettel azonban arra, hogy az agroklimatológiában rendszerint nem rendelkezünk sok megfigyelőhelyen hosszú párhuzamos növényi és meteorológiai megfigyelési sorozatokkal, célszerű megvizsgálni milyen lehetőségeink vannak az adatanyag felosztására.

1. A leghelyesebb volna, ha a bázis mintát és a teszt mintát úgy tudnánk megválasztani, hogy mind a megfigyelőhelyek, mind a megfigyelési periódusok a bázis és a teszt mintában különbözőek legyenek.

Ehhez sok helyen kell hosszú párhuzamos növényi és meteorológiai adatsorokkal rendelkezni. Az ilyen lehetőség világszerte ritka az agroklimatológiában.

2. Amennyiben eléggé sok helyen rendelkezünk hosszú párhuzamos megfigyelési sorokkal, akkor választhatjuk azt a felosztási módot, hogy a bázis mintában és a teszt mintában a megfigyelőhelyek különbözőek, de a megfigyelési periódusok azonosak.

A felosztást ez esetben tehát a megfigyelőhelyek alapján végezzük el.

3. Amennyiben kevés számú megfigyelőhelyen áll rendelkezésünkre hosszú párhuzamos megfigyelési sorozat, akkor a megfigyelési adatanyagot úgy osztjuk két részre, hogy a megfigyelési periódust bontjuk ketté, tehát azonos megfigyelőhelyek megfigyelési periódusának első szakasza lesz a bázis minta, második szakasza pedig a teszt minta.

4. Lehetőségként említjük meg azt is, hogy az adatbázisból kihagyunk egy megfigyelési adatot, a fennmaradó $n-1$ adatból meghatározzuk a módszer paramétereit, s kapott összefüggéssel megbecsüljük a függő változó (Y) értékeit. Ezt a becslést az összes megfigyelési adatra elvégezzük, s a standard becslési hiba alapján jellemezzük a becslés pontosságát (*Hunyadi et al. 1996*).

A modell validálásához elsősorban megbízható mérési adatsorokra van szükség. A validálást független mintán kell elvégezni. Ezzel kapcsolatban azonban két probléma adódhat. Az egyik, hogy gyakran előfordul, hogy nem állnak rendelkezésünkre a teszteléshez olyan adatsorok, amelyek a modell validálásához szükséges mérési adatokat tartalmazzák. A másik probléma pedig az lehet – főleg az agroklimatológiában –, hogy a teszteléshez egy későbbi időszakból ugyan rendelkezésre állnak a szükséges adatsorok, de az éghajlati viszonyok ingadozása következtében a tesztelésben részt vevő adatok évek közötti ingadozásának tendenciája ellentétesre változott. Feltételezhető ezért, hogy a megváltozott feltételek befolyásolnák a tesztelés eredményét.

A módszer verifikálása

A verifikáció *van Waveren et al. (1999)*, valamint *Mavi és Tupper (2004)* szerint a modellben szereplő összefüggések korrektségének vagy helyes voltának a tesztje. Ezt a tesztet úgy végezzük el, hogy a valóságos világ egy adott rendszerére vonatkozóan mért adatokat összehasonlítjuk a model-számítással kapott adatokkal, s ha az egyezés jó, akkor igazoljuk, hogy a modellben alkalmazott függvényyszerű összefüggés korrekt (*1. táblázat*).

1. táblázat. Az őszi búza tényleges és becsült értékei közötti összefüggések korrelációs koefficiensei

Table 1. Correlation coefficients of relationship between measured and estimated values of winter wheat

Megye	r
Győr-Moson-Sopron	0.985
Vas	0.980
Zala	0.978
Somogy	0.977
Veszprém	0.987
Komárom-Esztergom	0.979
Fejér	0.977
Tolna	0.974
Baranya	0.984
Bács-Kiskun	0.989
Pest	0.987
Jász-Nagykun-Szolnok	0.970
Csongrád	0.979
Békés	0.979
Hajdú-Bihar	0.982
Szabolcs-Szatmár-Bereg	0.978
Borsod-Abaúj-Zemplén	0.980
Heves	0.982
Nógrád	0.979

Az alkalmazott ellenőrzésénél az egységeit szokás Ellenőrizni kell a

módszerek SI rendszer használni. tömeg és az

energia számítását is. Fontos, hogy a modell alapjául szolgáló programot lépésről-lépésre ellenőrizzük, lehetőleg kis időintervallumonként, mert ha sok egyenlet van a modellben, akkor egyébként nehéz megtalálni a hibát. Végül is ez a lépésenkénti ellenőrzés és korrekció elvezet a helyes analitikus megoldáshoz is (*Donatelli et al. 2002*).

A korrelációs együttható, - amit determinációs együtthatónak nevezünk, - azt mutatja meg, hogy a független változók milyen arányban (százalékban) okozzák a függő

változó megváltozását. Ezzel választ kapunk arra a kérdésre, hogy a meteorológiai elemek milyen mértékben befolyásolják a növény életjelenségeinek az alakulását.

A módszerrel kapott adatok és a tényleges adatok összevetésére azért van szükség, mert a statisztikai összefüggések vagy a modellek a természetben lejátszódó jelenségek és folyamatok leegyszerűsítésén alapszanak, ezért a számított és a tényleges értékek nem esnek teljesen egybe.

A módszer validálása

A modell validálása – bár a szakirodalomban eléggé ellentmondásos fogalomnak tűnik – azt jelenti, hogy a modell által kapott értékeket összehasonlítjuk egy független minta adataival, megvizsgáljuk a két adatsor mennyire egyezik (*van Waveren et al. 2000*).

A modell felépítésénél számos tényezőt elhanyagoltunk, ezért a kidolgozott módszerrel becsült értékek többnyire nem fognak egybeesni a tényleges értékekkel még a bázis mintában sem, amelyeknek adatai alapján a módszer empirikus paramétereit meghatároztuk. A tényleges értékek és a becsült értékek közötti különbségeket reziduális különbségeknek vagy egyszerűen reziduumoknak nevezzük.

2.táblázat: Az őszi búza termésbecslési hibáinak kumulatív gyakorisága (%)
 Table 2. Cumulative frequency of errors for yield estimation of winter wheat (%).

Megye	Becslési hiba (terméshozam %)					
	≤5	≤10	≤15	≤20	≤25	≤30
Győr-Moson-Sopron	50	85	95	98	100	100
Vas	43	78	88	93	98	100
Zala	40	75	93	98	100	100
Somogy	65	80	88	93	95	98
Veszprém	53	90	100	100	100	100
Komárom-Esztergom	50	70	88	100	100	100
Fejér	48	78	85	98	98	100
Tolna	48	78	85	90	93	98
Baranya	43	75	85	93	93	98
Bács-Kiskun	55	85	93	95	95	95
Pest	45	78	98	100	100	100
Jász-Nagykun-Szolnok	40	75	83	95	98	98
Csongrád	50	75	85	90	93	95
Békés	58	75	90	93	95	98
Hajdú-Bihar	50	73	85	93	98	98
Szabolcs-Szatmár-Bereg	48	73	93	98	100	100
Borsod-Abúj-Zemplén	53	78	85	95	98	100
Heves	35	80	93	93	100	100
Nógrád	53	88	95	95	95	100

Az összefüggés pontosságának meghatározására a reziduumok szórását szokás felhasználni, amely a következőképpen adható meg (*Theiss szerk. 1958; Wallach és Goffinet, 1989*):

$$S_y = \sqrt{\frac{(y_t - y_{sz})^2}{n}} = \sigma_y \cdot \sqrt{(1 - r^2)}$$

ahol S_y a meghatározás pontossága (a reziduumok szórása), amelyet a becslés standard hibájának neveznek, az y_t a tényleges érték, y_{sz} a számított érték, n a számításnál figyelembe vett esetek száma, a σ_y a független változó szórása, r pedig a korrelációs koefficiens.

A módszer validálását a teszt-mintán végezzük el. A cél az, hogy olyan módszert dolgozzunk ki, amelynél a becslés standard hibája (S_y) első lépésben kisebb, mint a függő változó szórása (σ_y), majd a módszer további pontosítása azt követeli meg, hogy a következő módszer standard hibája S_y^{k+1} kisebb legyen, mint S_y^k , vagyis

$$\sigma_y > S_y^1 > S_y^2 > \dots > S_y^n$$

ahol az $S_y^1, S_y^2, \dots, S_y^n$ az egymásután kidolgozott módszerek szórásait jelentik

Ezzel az eljárással azt tudjuk el dönteni, hogy az újonnan kidolgozott módszer a korábbi módszerekénél jobb-e. Gyakorlati szempontból azonban azt is fontos lehet tudni, hogy bizonyos nagyságú hibák milyen gyakorisággal fordulnak elő (*Varga-Haszonits 1977*).

Ezt a módszert úgy tudjuk alkalmazni, hogy első lépésként meghatározzuk a tényleges és számított értékek közötti különbséget (a becslési hibát), majd meghatározzuk az egyes értékek gyakoriságát és kumulatív gyakoriságát. Végül vagy táblázatos formában bemutatjuk ezeket az értékeket vagy pedig grafikus formában ábrázoljuk. Azt a módszert tartjuk jobbnak, ahol a kisebb hibák nagyobb gyakorisággal fordulnak elő.

Láthatjuk a 2. táblázatból, hogy a bemutatott termésbecslési módszer hibája az esetek 70-90%-ában 10% alatt marad.

A MODELLEK GYAKORLATI ALKALMAZÁSA

A terméshozamra hatást gyakorló környezeti tényezők logikusan rendezett és világos rendszere a de Wit által meghatározott produkciós szintek szerinti osztályozás.

Elemzés vegyes modellel

A vegyes modellekkel történő elemzést célszerű ezért a produktions szintek figyelembevételével végezni.

1) Az első lépés az agrotechnikai tényezők (fajta, tápanyagellátás, növényvédelem) meghatározása. Erre a célra a Thompson által javasolt eljárást alkalmazzuk. Ebben az esetben a termésre ható – a produktions szintek szerint tagolt – környezeti tényezőket két csoportra osztjuk: agrotechnikai tényezőkre és meteorológiai tényezőkre. Az agrotechnikai tényezők a fajtát, tápanyagellátás (3.szint) és a növényvédelmet (4.szint) foglalják magukba, a meteorológiai tényezők pedig a légköri tényezőket (1.szint) és a vízháztartási tényezőket (2.szint). Mivel regionális és országos mértékben az agrotechnikai tényezők évről-évre csak fokozatos ütemben képesek változni, ezeknek a tényezőknek a hatását a terméshozam évenkénti változása trendjeként vesszük figyelembe, az évről-évre jelentős változásokat előidéző meteorológiai tényezők hatását pedig a trendtől vett eltérésekkel jellemezzük. Mivel a tapasztalat azt mutatja, hogy kisebb terméshozamokhoz kisebb trend körüli ingadozások tartoznak, a nagyobb terméshozamokhoz pedig nagyobb trend körüli ingadozások tartoznak, az ingadozásokat a trendhez viszonyított arányukkal határozzuk meg:

$$\frac{Y(t)}{f(t)} = f(m)$$

Az összefüggésben $Y(t)$ a t -edik évben mért tényleges terméshozam, $f(t)$ a t -edik évben meghatározott trendérték, $f(m)$ pedig a meteorológiai hatás.

2) A meteorológiai tényezők azonban nemcsak intenzitásukkal, hanem a tartamukkal is hatnak a növényre. Mivel a meteorológiai tényezők az adott helyen a vegetációs periódus alatt is időben folyamatosan változnak, ki kell választani azokat az időszakokat, amelyben hatásuk jelentős. A tapasztalat azt mutatja, hogy a hosszabb időszakok (tenyésztési időszakok fenológiai fázisok, hónapok) folyamán különböző intenzitású időszakok változhatnak, ezért egyértelmű hatást nehéz lenne meghatározni velük. Az egy nap pedig rövid ahhoz, hogy a hatás időbeli tartamát is kifejezze. Célszerű ezért a közepes hosszúságú pentád vagy dekád időszakokat választani, amelyek viszonylag homogén intenzitású szakaszokat jelenítenek meg.

A jelentős időszakok kiválasztása összefüggésvizsgálattal (érzékenységvizsgálattal) történik.

3) Az elemzést többféle módszerrel végezhetjük. Gyakori megoldásként a regressziószámítás valamilyen formáját alkalmazzák.

Ha az elemzést a reziduális módszeren alapuló fokozatos közelítés módszerével végezzük, akkor a szignifikáns hatást mutató időszakokat időrendi sorrendbe rendezzük és a reziduális módszeren alapuló fokozatos közelítés eljárással számítjuk.

4) Az eredmények ellenőrzése során először azt vizsgáljuk, hogy a számított és a tényleges értékek mennyire egyeznek. A teljes egyezésnek az $y = x$ lineáris összefüggés felel meg. Ez ritkán fordul elő. A módszer jóságát ezért a lineáris összefüggés szorosságát mutató korrelációs együttható segítségével határozzuk meg. A módszer annál jobb, minél közelebb van 1-hez a számított és tényleges értékek közötti összefüggés korrelációs együtthatója.

5) Gyakran nem csak a módszer jóságára, hanem a pontosságára is kíváncsiak vagyunk. Ekkor meg kell határoznunk a becslési hibát, ami a számított és a tényleges érték közötti különbségből adódik. A becslési hibák ismeretében meghatározzuk a különböző nagyságú hibák előfordulásának a gyakoriságát. Akkor tartunk megfelelő pontosságúnak egy módszert, ha a becslési hibák nagy gyakorisággal – egy általunk megadott – küszöbérték alatt fordulnak elő.

METHODICAL BASIS OF CLIMATE-CROP MODELS

ZOLTÁN VARGA-HASZONITS¹ – ZSUZSA LANTOS² – TAMÁS SZAKÁL¹

¹Szécheényi University, Faculty of Agricultural and Food Sciences,
Mosonmagyaróvár

²University of Miskolc, Institute of Mathematics, Miskolc

SUMMARY

The effect of climate on crops is reflected in the effect that values of continuously changing atmospheric variables determined over a long period have on crop productivity. Such a system is made up of complex components. For this reason, it was simplified into three productivity levels by researchers in Netherlands. The first level is denoted as the potential productivity level where all factors influencing crop growth are optimal. The second level is the water and/or nutrient limited level of productivity, when there is a shortage in soil water or/and a deficiency in nutrients. The third level is the actual level

of productivity that includes not only optimum factors and limiting factors but also factors that reduce productivity (weeds, diseases, pests).

When modelling such as system, the first step is to select the variables influencing crop growth. The model is constructed based on these variables. Following this, the model has to be calibrated and verified.

There are statistical models, dynamic models and mixed models. In the present study, a mixed model was constructed and used to determine the influence of climate on the yield of the winter wheat.

Keywords: system, productivity level, sensitivity analysis, types of modelling.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését az **EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008** számú „**Innovatív tudományos műhelyek a hazai agrár felsőoktatásban**” című projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

IRODALOM

Debnath, S.,-S. Adamala,-N.S. Raghuwanshi (2015): Sensitivity Analysis of FAO-56 Penman-Monteith Method for Different Agro-ecological regions of India. Environ. Process. 689-704.

Donatelli M.,-van Ittersum M.K.,-Bindi M., Porter J.R. (2002): Modelling cropping systems – highlights of the symposium and preface to the special issues, Eur J. Agron. 18, 1–11

Gates, D.M. (1993): Climate Change and Its Biological Consequences. Sinauer Associates, Inc. Publishers, Sunderland. 280 oldal.

Goudriaan, J.,-H.H. van Laar (1994): Modelling Potential Crop Growth Processes. Textbook with Exercises. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht.

Hunyadi L.,-Mundruczó Gy., Vita L. (1996): Statisztika. Aula Kiadó, Budapest. 883 oldal.

Irmak, S.I.,-J.O. Payero,-D.L. Martin,-A. Irmak,-T.A. Howell (2006): Sensitivity Analysis and sensitivity Coefficients of Standard ized Daily ASCE-Penman-Monteith Equation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 564-578.

van Keulen H.,-J. Wolf (szerk.) (1986): Modelling of agricultural production: weather, soils and crops. Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen. 479 oldal.

Mavi H.S.,-G.J. Tupper (2004): Agrometeorology. Principles and Applications of Climate Studies in Agriculture. Food Products Press, New York. 364 oldal.

Mundruczó Gy. (1981): Alkalmazott regressziószámítás. Akadémiai Kiadó, Budapest.

Penning de Vries, F.W.T., D.M. Jansen, H.F.M. ten Berge, A. Bakema (1989): Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops. Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen. 271 oldal.

Ritchie J.T. - G. Alagarswamy (2002): Overview of crop models for assessment of crop production. In: Effects of Climate Change and Variability on Agricultural Production Systems. Ed by O.C. Doering, J.C. Randolph, J. Southworth, R.A. Pfeifer. Kluwer Academic Publisher, Boston, 43-68. oldal.

Smajstrla, A.G., - F.S. Zazueta,- G.M.Schmidt (1987): Sensitivity of potential evapotranspiration to four climatic variable in Florida. Soil Crop Sci. Soc. Florida 46: 21-26.

Szalóky S. (1991): A növények vízigénye és öntözésigényessége. In: Öntözés a kisgazdaságokban. Lelkes J. és Ligetvári F. szerk. Fólium Könyvkiadó Kft., Budapest. 21-42. oldal.

Theiss E. (szerk.) (1958): Korreláció és trendszámítás. Közgazdasági és Jogi Kiadó, Budapest. 267 oldal.

Varga-Haszonits Z. (1977): Agrometeorológia. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 224 oldal.

Wallach, D. - B. Goffinet, (1989): Mean squared error of predictions as a criterion for evaluating and comparing system models. Ecological Modelling, 44: 299-306.

van Waveren, R.H.,- Groot, S., Scholten, H.,-Van Geer, F.C.,- Wösten, J.H.M.,- Koeze, R.D. - Noort, J.J. (2000): Good Modelling Practice Handbook, STOWA Report 99-05, Utrecht, RWS-RIZA, Lelystad, The Netherlands.165 oldal.

A szerzők levélcíme – Address of the authors:

Varga-Haszonits Zoltán

Széchenyi István Egyetem

Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar

Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

e-mail: varga-haszonits.zoltan@sze.hu