

VESZPRÉMI EGYETEM
GEORGIKON MEZŐGAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR
MULTIDISZCIPLINÁRIS AGRÁRTUDOMÁNYOK
DOKTORI ISKOLA

Témavezető:
DR. VARGA-HASZONITS ZOLTÁN
az MTA doktora

**A METEOROLÓGIAI TÉNYEZŐK HATÁSA A
KUKORICA TERMESZTÉSÉRE**
Doktori (PhD) értekezés

Készítette:
VARGA ZOLTÁN

Veszprém
2001

Tartalom

Bevezetés

1. Irodalmi áttekintés	1.
<i>1.1 A kukorica jelentősége</i>	1.
<i>1.2 A meteorológiai tényezők és a kukorica termesztése</i>	2.
1.2.1 A meteorológiai tényezők és a fejlődés	4.
1.2.2 A meteorológiai tényezők és a növekedés	8.
1.2.3 A meteorológiai tényezők és a termés	12.
1.2.4 A fejlődés, növekedés és termés kapcsolata	18.
1.2.5 Egyéb vonatkozások	19.
<i>1.3 Az éghajlat-növény kapcsolat modellezése</i>	20.
1.3.1 A modellek felépítése	21.
1.3.2 Főbb modelltípusok	22.
1.3.3 A modellek belső jellemzőinek meghatározása	24.
1.3.4 A vegetációs periódus felosztása	26.
1.3.5 Verifikáció	27.
1.3.6 A modellépítés hazai lehetőségei	28.
2. Anyag és módszer	29.
<i>2.1 Szántóföldi kísérletek</i>	29.
2.1.1 Meteorológiai megfigyelések	29.
2.1.2 Növényi adatok	35.
2.1.3 Az összefüggések vizsgálata	37.
<i>2.2 Az agroklimatológiai adatbázis elemzése</i>	37.
2.2.1 A vegetációs periódus meteorológiai viszonyainak Vizsgálata	37.
2.2.2 Éghajlat-növényfejlődés vizsgálatok	38.
2.2.3 Éghajlat-termés vizsgálatok	40.
3. Eredmények	44.
<i>3.1 A vegetációs periódus meteorológiai viszonyai</i>	44.
3.1.1 Termikus elemek	44.

3.1.2	Higrikus elemek	51.
3.2	<i>A meteorológiai tényezők hatása a kukorica növekedésére</i>	61.
3.2.1	A növekedés időbeli változásai	62.
3.2.2	A termikus idő és a növekedés	64.
3.2.3	A meteorológiai elemek és a növekedés	69.
3.3	<i>A meteorológiai tényezők hatása a kukorica fejlődésére</i>	83.
3.3.1	A kukorica fenológiai fázisai	84.
3.3.2	Egyváltozós összefüggésvizsgálatok	86.
3.3.3	Többváltozós összefüggésvizsgálatok	93.
3.4	<i>A meteorológiai tényezők hatása a kukorica produktivására</i>	97.
3.4.1	Vegetációs periódus szerinti elemzés	98.
3.4.2	Havonkénti elemzés	106.
3.4.3	A kukorica hőmérsékleti és nedvességi igénye	112.
4.	Összefoglalás	120.
5.	Új tudományos eredmények	125.
6.	Köszönetnyilvánítás	128.
7.	Felhasznált irodalom	129.

BEVEZETÉS

Az utóbbi időben világszerte felélénkültek az agrometeorológiai kutatások. Ennek kettős oka van: egyfelől a Föld népességének gyarapodása, s az ennek következtében fellépő egyre növekvő élelmiszerigény, másfelől az emberi tevékenység nyomán a légkörben feldúsuló üvegházhatású gázok által kiváltott globális felmelegedés. Az esetleges éghajlatváltozás a jelenleg önellátó vagy exportra termelő országokban is a lehetséges következmények és az éghajlat-növény kapcsolat alaposabb vizsgálatát igényli. Mindezen okok arra ösztönzik az agrometeorológiával foglalkozókat, így minket is, hogy *vizsgálat tárgyává tegyünk az éghajlat mint erőforrás jelentőségét a mezőgazdaság számára*, s hogy elemezzük, milyen hatást gyakorolnak a meteorológiai tényezők a növények növekedésére, fejlődésére és produktivására.

A probléma kétféleképpen elemezhető: általános cirkulációs modellekre alapozva, melyeknek előnye és hátránya is egyben, hogy csupán adott irányú és mértékű éghajlatváltozás következményeit taglalják vagy az éghajlati változékonyság és a növények kapcsolatának vizsgálata végezhető el, amely egy rugalmasabb megközelítést jelent. Ebben az esetben különböző irányú és mértékű fokozatos változásokra adott növényi reakciók mutathatók be, s meghozhatók a szükséges döntések. Ezért mi ezt az utóbbi utat követtük tanszékünkön folyó kutatásainkban, s e disszertációban is, melyben vizsgálati növényként a kukoricát választottuk.

A kukorica az egyik legfontosabb gazdasági növény Magyarországon. Vetésterülete a második legnagyobb, általában a terület negyedén termesztik, s ez egyben azt is jelenti, hogy hazánk egész területén kiemelkedő jelentőségű. Az utóbbi 20 év hazai átlagtermése 5 t körüli, de ezen időszak alatt előfordultak 6,5 t feletti és 3,5 t alatti értékek is. Ezért fontos megvizsgálni a meteorológiai tényezők kukoricatermesztésre gyakorolt hatásait és ennek a vizsgálatnak lehetőleg az egész országra ki kell terjednie.

Mivel ***az éghajlat növénytermesztésre gyakorolt hatása kettős:*** a meteorológiai tényezők feltételrendszerét képezik egy adott területen termesztett növénynek, s évről-évre jelentkező ingadozásaik hatnak is azokra, célkitűzéseink négy fő területet érintettek: a kukorica vegetációs periódusa alatti meteorológiai viszonyok jellemzését, s a meteorológiai tényezők e növény fejlődésére, produktivitására és növekedésére gyakorolt hatásának vizsgálatát, s e kapcsolatok modellezését szándékoztunk megvalósítani. Az első három célkitűzés a rendelkezésre álló agroklimatológiai adatbank alapján megvalósíthatónak tűnt, de az éghajlat-növekedés kapcsolat elemzéséhez szántóföldi kísérlet beállítása vált szükségessé.

A vizsgálatok mellett szólt az is, hogy ha a hatásokat sikeresen modellezzük, akkor az éghajlati viszonyokhoz megfelelő szintű alkalmazkodást tudunk megvalósítani, valamint az éghajlati változékonyság és egy esetleges változás következményeit és a velük együtt előforduló extrém hatásokat, mint kockázati tényezőket figyelembe tudjuk venni.

Ezért a tanszéki adatbankra és az általunk tervezett és végrehajtott kísérletre alapozva **a kukorica fejlődésének, növekedésének és produktivitásának modellezését tűztük ki célul.**

1. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

1.1 A KUKORICA JELENTŐSÉGE

A kukorica jelentősége hazánkban vitathatatlan, hiszen az utóbbi években, a *Statisztikai Évkönyvek* adatai alapján Magyarországon a búza után a második legnagyobb területen vetett növényünk. Hazánkban általában a vetésterület kb. negyedét köti le. Termésátlaga az utóbbi évtizedben mind területi, mind időbeli alakulását tekintve nagy változékonyságot mutatott, s ez a meteorológiai viszonyok jobb megismerésének, s a termesztés ehhez való alkalmazkodásának szükségességére hívja fel a figyelmet. Ugyanakkor az 1950-es évek elejétől a 80-as évek végéig tartó időszak szabályosan alakuló, egységesen egyre javuló termései azt mutatják, hogy a helyes - meteorológiai szempontokat is figyelembe vevő - termesztéstechnológia biztonságos és kiegyensúlyozott gazdálkodást tesz lehetővé.

A kukorica világviszonylatban is kiemelkedő jelentőségű növény. Mind a termesztés területét, mind a termésmennyiségeket tekintve rendre az elsők között van, s átlag- és össztermése is emelkedő tendenciát mutat (*FAO Production Yearbooks*).

Említést érdemel alfajainak sokasága, melyek a hasznosítás különböző lehetőségeit kínálják. A különböző csoportosítási lehetőségek közül mi - ennek alátámasztására - *Grebenscsikov* (1954) rendszerét ismertetjük:

- simaszemű (v. keményszemű) kukorica (*Zea mays convar. vulgaris*); lófogú kukorica (*Zea mays convar. dentiformis*); puhaszemű (v. lisztes) kukorica (*Zea mays convar. amylacea*); pattogatni való (v. egérfogú) kukorica (*Zea mays convar. microsperma*); csemegekukorica (*Zea mays convar. saccharata*); átmeneti kukorica (*Zea mays convar. aorista*); viaszkukorica (*Zea mays convar. ceratina*); felemás kukorica (*Zea mays convar. amylosaccharata*); pelyvás kukorica (*Zea mays convar. tunicata*).

A lehetséges hasznosítás (Bocz 1992): a Magyarországon megtermelt szemes kukorica 70-90 %-a takarmányként értékesül, s bár fehérjekiegészítést igényel és aminosav-összetétele sem kedvező, mégis magas tápértékű abraktakarmány. A szemesabrak-szükséglet kb. 65-70 %-át, a fehérjeigény mintegy 40 %-át fedezi. Silókukoricaként, illetve csalamádéként is több ezer hektáron termesztik. Emellett felhasználható még keményítőgyártásra, szeszgyártásra, édesítőszer előállítására, humán táplálkozásra (egyre változatosabb formában), vetőmagnak és exportra. A fokozódó ipari feldolgozás mellett várhatóan bővülnek a hőtechnikai felhasználás lehetőségei is.

1.2 A METEOROLÓGIAI TÉNYEZŐK ÉS A KUKORICA TERMESZTÉSE

Az előző részben áttekintettük, hogy milyen szempontok szólnak amellett, hogy a kukoricával foglalkozunk. Ezen alfejezetben a meteorológiai tényezőknek a kukorica növekedésére, fejlődésére és produktivására gyakorolt hatásaira vonatkozó irodalmat foglaljuk össze. Mielőtt azonban ezt megtennénk, azaz részletesen foglalkoznánk az egyes növényi folyamatokat érintő meteorológiai hatásokkal, szükséges néhány általános megállapítást tennünk. Ezek az alábbiak:

- Habár a későbbiekben külön foglalkozunk a növekedésre, a fejlődésre és a produktivitásra gyakorolt meteorológiai hatásokkal, valójában ezek között nem ilyen éles a határvonal. E csoportosítás csak a könnyebb áttekinthetőség végett történt, a természetben azonban egy meteorológiai tényező hatása egyszerre érinti a növény - amúgy elválaszthatatlan - növekedését, fejlődését és produktivitását.

- A vizsgálatot indokolja az a tény, hogy a növényt magas terméspotenciálja és sokirányú hasznosítása miatt alkalmazkodási határának közelében is termesztik, s ez a növény - környezet kapcsolat jobb megismerését és agroklimatológiai normák kidolgozását követeli (Nield és Richman 1981).

- A meteorológiai tényezők hatásának szempontjából az is indokolja a kukoricának mint vizsgálati növénynek a szerepeltetését, hogy a meteorológiai hatások jól kimutathatók, mivel a többi gabonánál érzékenyebb a kritikus időszak hőmérsékleti és nedvességi viszonyaira (Runge és Benci 1975).

- Egy esetleges éghajlatváltozás hatásának elemzése is igényli az ilyen jellegű vizsgálatokat. *Carter et al.* (1991) például úgy találták, hogy az évi középhőmérséklet 1 fokos változása 300-330 km-rel tolja el a kukoricatermesztés területének északi határát. Kissé más megközelítésben úgy interpretálták eredményeiket, hogy az 1960-as évektől napjainkig évente átlagosan 50 km-rel tolódott e határ északabbra, s véleményük szerint ez az érték - a növekvő felmelegedés hatására - növekedni fog.

- A vitatott éghajlatváltozás mellett az éghajlati változékonyság is igényli az agrometeorológiai vizsgálatokat, hiszen a növénytermesztés éghajlati feltételrendszerének ismeretében valósítható meg a körülményekhez alkalmazkodó, azokat ésszerűen kihasználó, ún. fenntartható gazdálkodás. *Antal és Szesztay* (1996) a fenntarthatóság mellett az energiaárak emelkedésével indokolta meg, hogy a növénytermesztésnek fokozottabban figyelembe kell vennie a növény ökológiai igényeit. *Lewandowski et al.* (1999) részletesen foglalkoztak az ilyen jellegű termelés megvalósításának lehetőségeivel, s *Varga-Haszonits et al.* (1992a, 1992b) is végeztek ilyen jellegű agroklimatológiai elemzéseket különböző növényekre.

- *Ruzsányi* (1992) arra hívta fel a figyelmet, hogy jelentős mértékben emelkedett a termesztés költsége, s így a kockázat. Ennek csökkentéséhez járulhat hozzá az összefüggések feltárása.

- Magyarország éghajlata is e vizsgálatok mellett szól. *Csomor és Lambert* (1987) 83 év adatai alapján úgy találták, hogy hazánk nedvességi viszonyai hajlamosak szélsőségesen alakulni, különösen a kukorica számára nagy jelentőséggel bíró időszakban.

- E vizsgálatoknál nélkülözhetetlen a növény botanikai és fiziológiai jellemzőinek ismerete. Példaként említhető, hogy a talajnedvesség, a növény nedvességellátottsága elemzésekor fontos információ lehet, hogy a kukorica gyökértömegének 90 %-a a talaj felső 60-80 cm-es rétegében található (*Szluhaj* 1974, *Szlovák* 1979).

E szempontok kellőképpen jelzik a vizsgálataink szükségességét és komplexitását, valamint az elvégzésükkor felmerülő szempontokat. Most pedig tekintsük át az egyes növényi folyamatok kapcsolatát a meteorológiai feltételrendszerrel az irodalom tükrében!

1.2.1 A meteorológiai tényezők és a fejlődés

A kukorica fenológiai szakaszait különböző szerzők különbözőképpen különítik el. A termesztési gyakorlatban Bocz (1992) szerint a következő 11 jelenséget különböztetik meg: csírázás, kelés, 3-4 leveles állapot, szárba indulás, 6-7 leveles állapot, címerhányás, nővirágzás, csőképződés, tejes érés, viaszérés, biológiai érés. Ugyanakkor agrometeorológiai szempontból általában a vetés, kelés, címerhányás és érés bír kiemelt jelentőséggel.

A fejlődés nyomon követéséhez sokféle módszert alkalmaznak, pld.: hőmérsékleti összegek, tenyésznapok száma és egyéb módszerek. Dwyer *et al.* (1999b) abból a megfontolásból kiindulva, hogy hasznos lenne e különféle módszerekkel kapott eredmények összehasonlíthatóságát megteremteni, több év, számos hibrid és megfigyelőhely adatai alapján regressziós egyenleteket dolgoztak ki e célra. A magas determinációs együtthatók jelzik a jó alkalmazhatóságot.

A sugárzás és a fejlődés: Barbat és Puja (1975) szerint a fényintenzitás 30-40 %-os csökkenése az érésidő 5-6 napos megnyúlását eredményezi. A nagyobb FAO-számú hibridek érzékenyebbek a sugárzás intenzitására, mint a kisebb FAO-számúak, így borús idő esetén a későbbi fajták érése megkéshet. Ugyanakkor Tölgyesi (1992) úgy látta, hogy hazai viszonyok közt bár fontos a sugárzásellátás, de általában nem korlátozó tényezője a fejlődésnek.

A megvilágítás időtartamát tekintve a kukorica szubtrópusi származási helyén rövidnappalos növény, azaz a 12 óra körüli megvilágítás sietteti virágzását, de az évszázadok során jól adaptálódott a termesztés helyének sugárzási viszonyaihoz, így vannak rövid-, illetve hosszúnappos körülmények között termesztendő populációi. Erre vonatkozóan Huelsen (1954) és Andrejenko és Kuperman (1961) végeztek kísérleteket. Utóbbiak arra is felhívták a figyelmet, hogy közvetlenül a kukorica szárba indulása előtt a nappalhosszúság mellett az is döntő jelentőségű, hogy a növény melyik napszakban, milyen összetételben és az egyéb környezeti tényezők (pld.: hőmérséklet) milyen kombinációja mellett kapja a fényt.

A napszakosság hatását vizsgálva amikor a rövidnappalos körülményekhez adaptálódott kukoricanövényeket hosszúnappos körülmények közé vitték, azt tapasztalták, hogy ezek a növények addig növekedtek, míg meg nem kapták a virágzásukhoz szükséges rövidnappalos megvilágítást. Növekedett a növények levélszáma és tömege, nagyobbak lettek a növények, nőtt a szárátmérő. Ezáltal szeptember végére, október elejére tolódott a virágzás, és ezek a növények a fagyok beállta előtt már nem tudtak termést hozni. Ha a hosszúnappalos feltételekhez adaptálódott kukoricanövényeket vitték rövidnappalos körülmények közé, akkor a kukorica magassága csökkent, kevesebb lett a levelek száma, valamint a fejlődés erősen felgyorsult, a növény korábban virágzott. A szár vékonyabb lett, a csövek az alsó ízeken alakultak ki.

Menyhért (1985) úgy találta, hogy - hasonlóan a megvilágítás erősségéhez - a napszakosság jobban befolyásolta a nagyobb FAO-számú növényeket, mint a korábbi éréscsoportba tartozókat.

A hőmérséklet és a fejlődés: A kukorica szubtrópusi származású, melegkedvelő növény, s ez alapvetően meghatározza hőmérséklet iránti igényét.

McMaster és Wilhelm (1998) abból a logikus feltételezésből indultak ki, hogy a felszínközeli talajréteg hőmérséklete jobban használható a növény fejlődésének leírására, mint a léghőmérséklet. Az általuk végzett vizsgálat viszont nem tudta ezt bizonyítani.

A csírázás kardinális pontjait már *Grafé* (1914) közölte: a minimum 8-10 °C, az optimum 31,5-35 °C, a maximum 40-44 °C, s minél magasabb a hőmérséklet, annál rövidebb a csírázás időtartama (az optimumig). A kukorica különböző fejlődési szakaszainak különböző földrajzi helyeken megállapított kardinális pontjaira vonatkozó irodalom bőséges és nagyjából egybecsengő. *Brouwer et al.* (1970), illetve *Duncan és Hesketh* (1968) szerint a fejlődés lassú 10 °C-on, míg 30-33 °C-on maximális sebességű. *Shaw* (1977) vizsgálatai alapján a kukorica nem termesztendő, ahol a nyári átlaghőmérséklet 19 °C alatti, s a nyári éjszakai átlaghőmérséklet 13 °C alatti.

Tölgyesi (1992) a megfelelő hőmérsékletellátás szempontjából a vetés-keelés és virágzás-érés szakaszt találta a legfontosabbnak, míg *Pletser et al.* (1980a) a vetés-keelés szakaszt. E fázisban 1 °C-os hőmérsékletváltozás 1-2 napos fázistartam-változást

okozott. Az alacsonyabb hőmérsékletek hátráltatták a kukoricát az egyenletes, gyors fejlődésben. *Usztimenko és Bakumovszkij* (1980) a címerhányás-érés időszakot vizsgálták, s a legkedvezőbb hőmérsékletet 24-26 °C-osnak találták. Ettől eltérő hőmérsékletek megváltoztatták a fázisstartamot (de a termést nem befolyásolták).

Allen et al. (1991) és *Peiris et al* (1996) modellezték az éghajlatváltozás hatását. A növekvő CO₂-szint által okozott hőmérsékletemelkedés a növényfejlődés gyorsulását, az életsiklus rövidülését okozhatja. *Kaiser et al.* (1993) a fokozatos éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodás lehetőségét gondolták végig. A végkövetkeztetés: a hőmérsékletemelkedéshez a fajtaválasztás segítségével, s az agrotechnikai beavatkozások időpontjának megváltoztatásával lehet alkalmazkodni, így kihasználva a hosszabb vegetációs periódus, a hosszabb fejlődési időszak adta lehetőségeket.

Ezzel áttérhetünk a szélsőséges hőmérsékletek és a fejlődés kapcsolatára. *Shaw* (1955) vizsgálatai azt mutatják, hogy minél fejletlenebb a kukorica, annál jobban károsodik fagy hatására. A fagyok miatt károsodott növény kiszántását azonban nem szabad elsietni, mert talajban lévő tenyészőkúpja több levélbe burkoltan fordul elő, s így képes gyorsan regenerálódni, hiszen a kelés utáni időben a gyökérzet általában gyorsabban fejlődik, mint a hajtás (*Surányi* 1975). Természetesen a fagyok erőssége és gyakorisága is befolyásolja a károsodás mértékét (*Varga-Haszonits* 1987). Hűlést fagypont feletti alacsony hőmérséklet okoz. *Sellschop és Salmon* (1928) szerint a kukorica nem szenved komoly kárt fagypont feletti hideg hőmérséklet hatására. *Heyne és Laude* (1940) vizsgálta a magas hőmérséklettel szembeni tűrőképességet. E tekintetben a fiatal növények ellenállóbbak voltak. Címerhányás és bibeszál-eresztés idején három egymást követő forró nap (38 °C fölötti hőmérsékleti maximum) a szemek fejlődésében 70 % körüli veszteséget okozott (*Zuber és Decker* 1956). *Menyhért* (1979) is hasonló következtetésre jutott. *Nield* (1982) is úgy vélte, hogy 35 °C fölötti hőmérsékletre a kukorica érzékeny, s ez több gondot okoz, mint az egyébként hasonló igényű ciroknak.

A hőmérséklet és fejlődés kapcsolatának jellemzésére használhatók a különböző hőmérsékleti összegek. *Brown* 1969-ben dolgozta ki a hőegységet (Heat Unit, HU), melynek segítségével összevethető a fajta/hibrid igénye a helyi

adottságokkal. Ez az egyik legelterjedtebb, bár *Cross és Zuber* (1972) már több mint 20 módszert hasonlított össze. Annak eldöntésére, hogy egy adott helyen egy hibrid beérik-e, segítséget nyújt a FAO által 1954-ben létehozott FAO-szám, mely a fejlődéshez szükséges hőmérsékleti összeg (termikus idő) alapján 9 éréscsoportot különböztet meg (*Bocz* 1992). *Carter et al.* (1991) szerint a szemes kukorica beérésének minimális feltétele 850 foknap 10 fok feletti effektív hőmérsékleti összeg. *Dwyer et al.* (1999a) a bibeszál-eresztés időpontja alapján kettéosztották a kukorica vegetációs periódusát, s erre alapozva általános hőmérsékleti indexet dolgoztak ki, mely a kukorica fejlődését írja le a vegetációs periódus egészében. A termikus indexek csoportjába tartozó általános hőmérsékleti index a szerzők szerint kellően pontosan jelezte előre az érés időpontját.

A nedvességi tényezők és a fejlődés: A nedvességi viszonyok alapvetőek a növények számára. A vízhiány a növények korai öregedéséhez, a szükségesnél több víz a tenyészidő meghosszabbodásához vezet (*Debreczeni és Debreczeniné* 1983). A kukorica érzékenyebb a vegetációs periódust megelőző időszak alacsony csapadékára, s az ennek következtében kialakuló alacsony talajnedvességre, mint a magas csapadékmennyiségre, s a vetés-keles időszak idején talajban jelenlévő vízfeleslegre (*Nield* 1982).

Berényi (1945) szerint hazánkban a tenyészidő alatt összesen 375 mm, *Bocz* (1988) szerint 420-440 mm csapadék az optimális. A különbség valószínűleg a fajták/hibridek közti különbséget, az intenzívebb hibridek nagyobb igényét tükrözi. A növény vízigénye a fejlődési fázissal változik. A legnagyobb vízigény a virágzás tájékán, közvetlenül előtte és utána jellemző; ennek hosszát különböző szerzők különböző nagyságúnak találták, de az eltérés nem jelentékeny (*Runge és Odell* 1958, *Shaw és Dale* 1959, *Pletser et al.* 1980b, *Debreczeni és Debreczeniné* 1983). Ebben az időszakban - virágzástól a szemtelítődés végéig - a legintenzívebb ugyanis a szárazanyag beépülés. Ezzel cseng egybe *Menyhért* (1988) megállapítása is, ami szerint a száraz július hátrányos a csőfejlődésre.

A túl sok csapadék is káros. A kukorica fejlődésének korai stádiumában érzékenyebb a vízfeleslegre, mint később. A tenyészidőszak kései szakaszában fellépő

felesleg azt eredményezheti, hogy a virágzás megkésik, rosszabb a magkötődés és rosszabb a minőség (*Ritter és Beer* 1969).

A légmozgások és a fejlődés: A fiatal növények kimondottan érzékenyek a szélre, hiszen még nincsen bennük annyi szilárdító szövet, mint az idősebb növényekben (*Bacsó* 1973). A légmozgások a termékenyülési viszonyokat, így a generatív fejlődést érintik, valamint sokrétű közvetett – egyéb meteorológiai tényezőkön keresztül ható – befolyásuk is ismert (*Menyhért* 1979). Ez utóbbiakról a következő pontban teszünk említést.

A meteorológiai tényezők fejlődésre gyakorolt együttes hatása: A valóságban egyszerre nem csak egy meteorológiai tényező hat a fejlődésre. A következőkben megemlítünk néhány kutatási eredményt több elem együttes hatásáról. Ismert tény, hogy a légmozgások erősödése növeli a párologtatóképességet, ezáltal módosítva adott nedvességi viszonyok és a fejlődés kapcsolatát. *Berry és Clemence* (1993) úgy találták, hogy hideg levegő advektív beáramlásának kitett helyen a termikus idő (hőmérsékleti összeg) - növényfejlődés kapcsolat megváltozik. Jó nedvességellátás és a levegő magas relatív páratartalma esetén a kukorica 35 °C-on jól fejlődik. Nálunk azonban az ilyen hőmérsékletű időszak alacsony légnedvességgel jár, ami kedvezőtlenül hat a fejlődésre a megnövekvő vízveszteség miatt (*Varga-Haszonits és Varga* 1999). Több irodalom, köztük *Tölgyesi* (1992) említi, hogy a hőmérsékletet és napfénytartamot magába foglaló fototermikus index jól jellemzi a növényi fejlődést.

1.2.2 A meteorológiai tényezők és a növekedés

A fiziológiában, az élszervezetek megfigyelésekor a növekedés vizsgálata központi helyet foglal el. A növény növekedése különböző paraméterekkel jellemezhető, legáltalánosabban a teljes növényben vagy az egyes részeiben felhalmozott szerves anyag mennyiségével, esetleg az ennek hatására alakuló tulajdonságokkal, például a növényt magasság vagy levélfelület növekedésével.

A növény-növekedés matematikai leírásával *Wareing és Philips* (1982), illetve *Seveluha* (1985) foglalkoztak. A növényi tömeg időbeli felhalmozódásának ábrázolása szigmoid görbével történhet. A szerves anyag adott idő alatti gyarapodása a

fotoszintézis és légzés intenzitásának különbségéből adódik. A fotoszintetikus és légzési rendszer szerkezetét, szabályozását és hatékonyságát elemezve *Loomis és Amthor* (1999) úgy találták, hogy e biokémiai rendszerek elemeinek (pld.: Rubisco, különböző lebontó és felépítő rendszerek) megváltoztatása nehéz - de nem megoldhatatlan - feladat, ám jelenleg enélkül is növelhető hatékonyságuk (s ezáltal a növekedés mértéke) például az állományszerkezet optimalizálásával. *Cox* (1996) foglalkozott az állomány és a fotoszintézis kapcsolatával, s úgy találta, hogy az egyed fotoszintetikus rátája csökkent a növényszám növelésekor, míg állományszinten ez az összefüggés bonyolultabban alakult.

A meteorológiai tényezők és a növekedés kapcsolatának jobb megismeréséhez szükség van a növekedést kifejező paraméterek és a befolyásoló meteorológiai tényezők minél hitelesebb adataira, valamint a hatások modellezésére. Röviden ilyen jellegű kutatásokat tekintünk át.

Az egyébként nehezen számszerűsíthető gyökértömeg becslésére *van Beem et al.* (1998) hordozható elektromos kapacitásmérőt teszteltek, s kiterjedt kísérletek alapján arra a megállapításra jutottak, hogy a gyorsan, egyszerűen és roncsolásmentesen mérő műszer különböző fenológiai időpontokban jól használható, s szignifikáns eredményeket ad.

Az egyedi levélfelület, illetve a teljes növény fotoszintetizáló felületének meghatározásakor két alapvető szempont érvényesül: minél egyszerűbben és minél pontosabban meghatározni ezt. E kettő általában egymás ellenében hat, szűrhető le *Anda* (1990, 1999) módszereket összehasonlító áttekintéseiből. A számításos, tömegmérési és planiméteres eljárások közül az utóbbiakat találta a legpontosabbnak, de a számításos módszerek közt elterjedten használt Montgomery-képlet használhatóságát is javíthatónak találta. *Berzsenyi* (2000), *Elings* (2000), illetve *Stewart és Dwyer* (1999) is végeztek összehasonlító vizsgálatokat a számításos módszerek között, utóbbiak a levélalakra helyeztek nagy hangsúlyt.

A fotoszintézis és légzés alakításában nagy szerepet játszó sugárzási adatok is a kutatók érdeklődésének homlokterében állnak, mivel nem mindig állnak rendelkezésre. *Goodin et al.* (1999) olyan modellt vizsgáltak és fejlesztettek tovább, amely hőmérsékleti adatokból állítja elő a kívánt sugárzási információkat. *Rährig et al.*

(1999) az állománystruktúrát figyelembe véve modellezték az elnyelt sugárzás mennyiségét.

Spitters (1990) a növénynövekedési modellek használhatóságát és korlátait tekintette át. A tárgyalt modelltípusok: a növekedést tapasztalati függvény segítségével leíró regressziós modellek és a környezettel kapcsolatos élettani folyamatokra alapozó mechanisztikus modellek. A növekedés leírható - egyszerűbb esetben - a fényelnyelés és -hasznosítás avagy a fotoszintézis és légzés alapján. A száraz anyag növényen belüli eloszlása jellemezhető a harvest indexszel vagy részletesebben fejlődési szakasztól függő megoszlási tényezőkkel. A szerző úgy találta, hogy az átlagos sugárzashasznosulás általában használható leegyszerűsítés a növénynövekedés szimulálásakor. Megemlíti még, hogy a gyakorlat előrejelző (jól parametrizált regressziós vagy egyszerű fiziológiai) modelleket, a kutatás viszont leíró, magyarázó (fiziológiai) modelleket igényel.

Fontos megjegyezni, hogy a növekedési paraméterek elemzése, a növekedésanalízis bevezetése a hazai kutatásokba *Précsényi et al.* (1976) vizsgálatával kezdődött. Martonvásáron évtizedek óta folynak ilyen jellegű vizsgálatok, melyeknek *Berzsenyi* (2000) adta egyfajta összegzését.

Ezt követően tekintsük át az egyes meteorológiai tényezők hatását a kukorica növekedésére!

A sugárzás és a növekedés: A kukorica az egyik leginkább fényigényes növényünk. Ez összefügg C_4 -es típusú fotoszintézisével, így a fotorespiráció kiküszöbölésével a megvilágítás erőssége magával vonja a CO_2 -asszimiláció sebességének növelését (*Barbat és Puja* 1957). A kukorica a ráeső sugárzás 20-25 %-át veri vissza. A sugárzás-elnyelés optimuma a levélfelület növekedésével nő, s 3-4-es LAI-értéknél éri el maximumát. Alsóbb szinteken nagyobb az elnyelés, s a szórt sugárzás érvényesül erőteljesebben. A kukoricacsövek szintjében a látható fény tartományában akár 70-85 %-os a sugárzás-elnyelés. A talajközeli szintekben, ahová kevesebb sugárzás jut, 90 % körüli ez az érték (*Varga-Haszonits* 1987). *Demetriades-Shah et al.* (1992) az elnyelt sugárzási energia kumulált értéke és a száraz anyag termelés között szoros korrelációt találtak.

Csirkov (1979) szerint a kukorica fotoszintézisének kompenzációs pontja 14 és 21 W/m² besugárzott teljesítmény között van. Ezen értékek alatt a lebomlás meghaladja a felépítés mértékét. A kompenzációs pont feletti sugárzási értékeknél az asszimiláció gyorsan növekszik 210-280 W/m² értékig, majd a növekedés mértéke lassul.

A hőmérséklet és a növekedés: A fejlődés és növekedés hőmérséklet-igénye párhuzamosan alakul. Brouwer *et al* (1970), valamint Duncan és Hesketh (1968) vizsgálatai alapján legnagyobb mértékű növekedés olyan környezetben várható, ahol a levél nappali hőmérséklete 30-33 °C, s az éjszaka hűvös. Ilyen feltételek szárazabb területekre jellemzők. A tenyészidőszak hőmérséklete a szerves anyagok növényen belüli eloszlását, a szár-gyökér arányt is érintik. Az optimum hőmérsékletig ez javul a szár javára, így nagyobb zöldtömeget eredményez, 30 °C fölött azonban a gyökér már nem képes a föld feletti részeket vízzel ellátni, így az életfolyamatok és a növekedés megakadnak.

Cantarero *et al* (1999) a bibeszál megjelenésekor éjszakai hőmérséklet hatását tanulmányozták. Úgy tapasztalták, hogy ezen kritikus időszakban a hőmérséklet emelése jobban hatott a fejlődésre (ezt gyorsította), mint a növekedésre (, melyet a légzési veszteség csekély növelésével hátráltatott). Wilhelm *et al* (1999) úgy találták, hogy az észak-amerikai kukoricaövezetben a szemtelítődési időszak átlaghőmérséklete optimum feletti. Ennek hatását vizsgálták modellkísérletben, s azt tapasztalták, hogy a krónikus hőstressz mérsékelten csökkenti a beépülési folyamatokat. Al-Khatib és Paulsen (1999) a hőstressz fiziológiai alapját keresték C₃-as és C₄-es gabonákkal végzett kísérletek alapján. Úgy találták, hogy a magas hőmérséklet által kiváltott fotoszintetikus reakció -, s ez által a növekedés 30 °C körüli visszaesése a C₄-eseknél - a fényreakciókkal kapcsolatos, a C₃-asok különösen nagy érzékenysége pedig a II. pigmentrendszer károsodására vezethető vissza.

A nedvesség és a növekedés: A növekedés és a fejlődés nedvességigénye sok hasonlóságot mutat. A kukorica növekedése 70-80 % közötti relatív talajnedvesség esetén maximális (Varga-Haszonits 1997). A kukorica kezdetben lassan növekszik, kevés vizet és tápanyagot fogyaszt. Később, főként a címerhányás környéki dekádokban igényli a legtöbb vizet és tápanyagot, ilyenkor legintenzívebb a növekedés. A júliusi

maximális vízigény után fokozatos a csökkenés (*Shaw és Dale 1959, Runge és Odell 1958*).

Debreczeni és Debreczeniné (1983) a következőkben foglalták össze a vízellátás és növekedés kapcsolatát. Vízhánykor a föld feletti részek növekedése korlátozott, mert a gyökér fejlesztésére aránytalanul több energiát fordít a növény. Csapadékosabb időjárási viszonyok között az intenzívebb szervesanyag mobilizáció és a kedvezőbb nitrifikációs folyamatok következtében a talajban több lesz a felvehető tápanyag, jobb a hasznosulásuk, s ez a növekedésre kedvező hatással bír. A víztelítettség (80 % fölötti relatív talajnedvesség) önmagában nem kedvezőtlen, de másodlagosan fellépő hatások (oxigénhiány, vas- és magnézium toxicitása, metán- és etilénképződés) problémát okozhatnak. A mérgező anyagokkal egyidejűleg a légzés és vízfelvétel csökken, s ez gátolja a növekedést.

A légmozgások és a növekedés: *Whitehead (1957)* a szélerősség kukoricára gyakorolt hatását tanulmányozta. Kísérletében megállapította, hogy a tartósan erős szél hatásának kitett növény testalakulása és növekedési jellemzői megváltoztak.

1.2.3 A meteorológiai tényezők és a termés

Duvinck és Cassmann (1999) terméspotenciálon olyan termésátlagot értenek, mely adott körülményekhez alkalmazkodott hibriddel stressz nélkül elérhető. Megkérdőjelezzik, hogy a 60-as évek vége óta történt-e növekedés a terméspotenciálban.

Evans és Fischer (1999) szerint a terméspotenciál a növény termése olyan környezetben, melyhez az adaptálódott, a felvehető víz és tápanyagok nem limitálnak és stresszor tényezők elleni védekezés hatékony. Mint ilyen, különbözik a potenciális terméstől, mely egy növény elérhető maximális termése adott (tehát nem ideális) környezetben. Véleményük szerint a terméspotenciál folyamatos fejlesztése nyilvánvaló sok növénynél, s ennek köszönhető, hogy a gazdaságok szintjén változatos körülmények között nő a termés. A terméspotenciál növekedésének oka lehet az alacsony termetből adódó harvest index növekedés és a tőszámsűrítés iránti tolerancia. Ez utóbbi szerintük jellemzőbb a kukoricánál. Tehát a termésnövekedést e két

tényezőnek tulajdonítják. Tekintsük át, hogy ezek hogyan játszottak/játszanak közre a produktivitás emelésében!

Sinclair (1998) azt kutatta, hogy miért növekedett olyan nagy mértékben a harvest index, s ezáltal a szemtermés a XX. században. Ennek okaként az ilyen irányú szelekciót említi. Történetileg a zöldtömeg is értékes volt, s ez nem ösztönözte a harvest index fejlesztését. Ez a szemtermés fontosabb válásával, a vegetatív tömeg háttérbe szorulásával megváltozott. A másik fontos tényező a talaj hozzáférhető nitrogéntartalma volt. A jó nitrogénellátás alapvető a magas szemterméshez, s így a magas harvest index-hez. Amíg a talajok nitrogénellátottsága rossz volt, addig az alacsonyabb harvest index volt előnyös, mert az alacsony nitrogéntartalmú részekbe épülve a kevesebb nitrogén nagyobb biomasszát eredményezett. Tehát a jobb tápanyag-ellátás is elősegítette a harvest index, s így a szemtermés növelését.

Tollenaar és Aguilera (1992) a magas növényszámra adott kedvező reakciónak, tehát stressztűrésnek tulajdonítják az új hibridek magasabb produktivitását, s ennek okaként a nővirágzáskori nagyobb levélfelület indexet jelölik meg. *Tollenaar és Wu* (1999) szintén a stresszel szembeni toleranciában látják a termésnövekedés magyarázatát. A tolerancia kiterjed a magas állománysűrűségekre, a gyomosodásra, az alacsony éjszakai hőmérsékletre, az alacsony talajnedvességre, a talaj alacsony nitrogén-szintjére és a herbicidekre. Mindez a hatékonyabb sugárzáselnyelésre, tápanyag- és vízfelvételre vezethető vissza. Normál körülmények között a források jobb felhasználása alig észrevehető, s gyakran csak stressz alatt derül ki. Ezzel egybecseng *Anda* (1999) megállapítása, mely szerint a száraz viszonyok között produktívabb és az öntözést igénylő hibrid párologtatása nem különbözik megfelelő vízellátás esetén. A száraz körülmények között is produktív növény viszont képes csökkenteni a párologtatását kedvezőtlen vízellátás esetén. Ez magasabb növényhőmérsékletet okoz, aminek ismerete újabb lehetőség a szelekcióra.

Varga-Haszonits (1987) szerint az időjárás termésnövelő, illetve -csökkenő hatása a kukorica esetén meghaladja a 20 %-ot. *Menyhért* (1995) úgy véli, hogy minél jobb az agrotechnika, annál kisebb a meteorológiai viszonyok termésátlagot befolyásoló hatásának százalékos értéke. *Ruzsányi* (1998) kiemelte, hogy a kukorica – szemben a

búzával – különösen érzékenyen reagál a kedvezőtlen környezeti hatásokra nem megfelelő agrotechnika esetén.

A sugárzás és a termés: Nem az adott területre beérkező sugárzás, hanem a növény által elnyelt mennyisége határozza meg a termést (*Monteith* 1981). *Andrade et al.* (2000) a növényenként elnyelt fotoszintetikusán aktív sugárzás és a termés (növényenkénti szemszám) között mutattak ki összefüggést, a fotoszintetikusán aktív sugárzás több mint 75 %-ban magyarázta a növényekénti szemszám változását. *Précsényi* (1980) úgy találta, hogy a kukorica általában a beérkező fotoszintetikusán aktív sugárzás 0,6-1,7 %-át hasznosítja, *Anda* (1987) már a korszerűbb hibridek 2-3 %-os efficienciájáról számolhatott be.

Az elnyelt sugárzás, s így a termés befolyásolható: *Barbieri et al.* (2000) a sorok közötti távolság csökkentésével növelték a területegységre jutó szemszámot, s ezáltal 15-20 %-os termésnövekedést értek el. *Anda* (1992) - ugyan nem kukoricánál, hanem cukorrépánál - a vetésirány termésre gyakorolt csekély, 6-9 %-os hatásáról számolt be. A termés nagysága szempontjából az ÉK-i, a minőség szempontjából a KNY-i irányítású sorokat találta a legkedvezőbbnek. *Reddy* (1995) ugyanakkor úgy látta, hogy az energetikai tényezők, melyek a terméspotenciál meghatározásához fontosak, túl nagy szerepet kaptak a termésmodellekben, s ezek helyett a terméskomponensekre befolyással bíró tényezők már feltárt hatásának egyesítését sürgette.

A hőmérséklet és a termés: Mint már említettük, a kukorica szubtrópusi származású növény, innen adódik a hőmérséklet iránti jelentős igénye. Azonban a legnagyobb termést nem származási helyén, hanem mérsékelt égövi körülmények között adja, ahol intenzíven művelik. Ez jó adaptációs képességre vall. Legnagyobb produkcióra ott képes, ahol a legmelegebb nyári hónapok átlaghőmérséklete 21-27 °C és a fagymentes napok száma 120 feletti (*Menyhért* 1985). Magyarországon a havi átlaghőmérsékletek éppen csak elérik az alsó küszöbértéket *Bocz* (1992) szerint. Mindezekkel egybecseng *Bölöni et al.* (1965) megállapítása: Magyarországon a legjobb kukoricatermő vidéket a július havi 22 °C-os izotermával határolhatnánk körül.

Varga-Haszonits (1981) úgy találta, hogy a fagyok által okozott átlagos termésveszteség (<0,2 t/ha) elmarad a szárazság által okozott károktól (>0,5 t/ha).

Usztimenko és Bakumovszkij (1980) a magas hőmérsékletek hatását vizsgálták az érzékeny, virágzás körüli időszakban. Az optimális feletti, 30 °C-ot meghaladó értékek a fejlődésre, a címerhányás-érés fázisstartamra gyakorlatilag nem hatottak, de a termést csökkentették.

A nedvesség és a termés: Amint láttuk, a kukorica elterjedési területe főleg a hőmérsékleti viszonyoktól függ, terméseredményét viszont - amint azt látni fogjuk - elsősorban a (nyári) csapadékviszonyok határolják be.

Cselőtei (1998) szerint az összes hazai mezőgazdasági terület kb. $\frac{3}{4}$ -én döntően a csapadék és a talaj víztartóképesége határozza meg a növény rendelkezésére álló vizet, a fennmaradó rész zömében a talajvíz is befolyásol, s csupán a terület 3 %-án rendezkedtek be öntözésre. Ez aláhúzza a természetes vízellátottság termésalakításban betöltött szerepét.

Hunkár (1990) Keszthelyen végzett kísérletek eredményeit úgy összegezte, hogy az átlagosnál nedvesebb időjárás megnöveli a növekedési időszak hosszát, a hosszabb vegetációs periódus nagyobb biomasszát eredményez, azaz a termésre szerinte alapvetően a nedvességi viszonyok hatnak. *Kádár és Szilágyi* (1980) szerint, ha a tenyészidő hőösszege 3100-3300 foknap közötti, úgy a termést alapvetően a nyári csapadék dönti el. Ezzel megegyező *Debreczeni és Debreczeniné* (1983) megállapítása: kedvező fény- és hőviszonyoknál a vízellátás a döntő termelési tényező. Hangsúlyozták, hogy a megfelelő időben és mennyiségben lehullott csapadék nemcsak a növények vízellátását, hanem a talajok tápanyagainak fokozottabb feltáródása révén tápanyagellátását is kedvezőbbé teszi, s ezek mindegyike meghatározó a termés szempontjából. Ezért a nagy termést biztosító zavartalan anyagcsere-folyamatok feltételeit sem vízhiánnyal (de túlzott vízellátással sem) szabad bizonytalanná tenni. *Szász* (1998) arra hívta fel a figyelmet, hogy a vízellátottság fontos a minőség szempontjából is, ugyanakkor a termesztett növények mennyiségi és miniségi időjárási optimuma eltér egymástól.

A kukorica termőképességét akkor tudja kifejezni, ha júliusban és augusztusban 100-100 mm vízhez jut (*Bocz* 1992). *Thompson* (1966) véleménye az, hogy az intenzív gazdálkodáshoz júniusban 100 mm, júliusban 175 mm és augusztusban 100 mm szükséges. Ezen értékek arra hívják fel a figyelmet, hogy a csapadék hazánkban a

termést limitáló tényező. *Berényi* (1945) úgy látta, hogy a júniusi szárazság akkor válik termés szempontjából katasztrófálissá, ha az a következő két hónapban is folytatódik. Ezért is érdemel figyelmet *Harnos* (1998) véleménye, aki szerint a következő időszakban a nyári félév csökkenő csapadéka várható. *Győrffy et al.* (1965) szerint aszály esetén a kukorica fejlődése nem gátolt, a vízhiány a későbbi szakaszban válik kritikussá és termés csökkentő hatásúvá. *Claasen és Shaw* (1970) a címerhányás alatti aszály hatására 30 %-ot meghaladó termés csökkenést mutattak ki, amit a szemek számának csökkenése okozott. A megtermékenyülés utáni aszály kevésbé volt veszélyes, s a szemek tömegét csökkentette. *Szász* (1971) úgy találta, hogy jobb tápanyag ellátással mérséklődött a csapadékhiány termésre gyakorolt hatása.

Abdin et al. (1998) köztes termesztésű növények kukoricára gyakorolt hatását vizsgálták, melyek szintén a nedvességért folytatott kompetíción keresztül csökkentették a termést. Megfelelő csapadék mellett nem volt érzékelhető veszteség, csak optimum alatti mennyiségénél. *Győrffy és Berzsenyi* (1998) egy ezzel rokonítható jelenségre hívták fel a figyelmet, nevezetesen, hogy az elővetemény is befolyásolja a talaj nedvességtartását, s így a kukorica vízellátottságát.

Debreczeni és Debreczeniné (1983) a túl sok csapadék elsődleges hatásai közül a tápanyagok kimosódását emelték ki, hozzátéve, hogy ilyen tekintetben a csapadék elmarad más, nem-meteorológiai tényezők (pl.: növényborítottság, talajtulajdonságok) mellett. *Antal és Posza* (1970) különböző növényállományok párolgásra gyakorolt hatását számszerűsítették.

A csapadék és párolgás fontos tényezője a növények vízháztartásának, mint a legfontosabb bevételi és kiadási tényező, de az életfolyamatokra közvetlenül a talajnedvesség hat. Ennek megfelelően *Ruzsányi* (1992) a csapadékkal szemben az eltárolt vízmennyiség, a talajnedvesség termésalakító szerepét hangsúlyozta. A gyökérzónában lévő talajpórusoknak nem szabad vízzel teljesen telítettnek lenniük, hiszen a kukorica gyökerei levegőt is igényelnek. Ha a felvehető víz a szántóföldi vízkapacitás 70-80 %-a között mozog, optimális termés várható (*Varga-Haszonits* 1997). *Denmead és Shaw* (1960) szerint nagyfokú talajnedvesség-stressz bibeszál-eresztés előtt negyedével csökkentette a termést, bibeszál-eresztéskor felével, 30 nappal utána pedig ötödével. *Domingo és Robins* (1953) a hatás időtartama alapján vizsgálták

az alacsony talajnedvesség-termés kapcsolatot. Ha a talajnedvesség értéke elérte a hervadási pontot, 20 %-kal csökkent a termés, ha ez a nedvességhiány egy hétig tartott, a termésnövekedés elérte a 50 %-ot. *Vincent és Wooley* (1972) szerint a hímsteril úton előállított hibridek jobban elviselik az ilyen vízhiányt, mint a normál citoplazmás úton kapott hibridek. Tartósan optimális feletti talajnedvesség az összes biomasszát nem befolyásolja, de a szemtermés a felére csökken (*Usztimento és Bakumovszkij* 1980). *Tolk et al.* (1998) szerint a talajtípus befolyásolja a kukorica vízfelhasználását, így különböző talajokon az optimális vízhasznosuláshoz eltérő vízgazdálkodási stratégiát kell követni.

***Hubbard és Hanks* (1983) a növény vízfelhasználása alapján határozták meg a termést. E több évtized adatain alapuló modell 40 %-ban magyarázta meg a termésingadozást. *Lerch* (1980) a növények közti összehasonlításban viszonylag kedvezőnek találta 1 kg kukorica szárazanyag képzéséhez szükséges vízmennyiséget (370 liter). *Ruzsányi* (1992) más fontos gazdasági növényekkel összehasonlítva kedvezőbbnek, s a *Lerch* által közölténél alacsonyabbnak, 200-240 l/kg-osnak találta a kukorica vízhasznosítását. *Anda és Hunkár* (1999) a vízhasznosulás javulását a környezetet nem terhelő, természetes eredetű alginittal érték el.**

A szén-dioxid és a termés: *Lawlor és Mitchell* (1991) a szén-dioxid növényekre gyakorolt hatását különböző fotoszintetikus utat követő növényeknél vizsgálták. A szén-dioxid szint emelkedése a C₃-as növényeknél jobban növeli a produktivitást, mint a C₄-eseknél. A növekedés a levélfelület megnagyobbodásával is összefügg. A termésnövekedést inkább a termésképző részek számának növekedése, mint ezek méretének megnagyobbodása okozza. *Stockle et al.* (1992) is a szén-dioxid szint emelkedésének pozitív hatását mutatták ki, de eredményeik szerint a közvetett hatások (a vegetációs periódust lerövidítő hőmérséklet-emelkedés és a csapadék csökkenése) miatt összességében akár termésnövekedés is bekövetkezhet. *Delecolle et al.* (1995) úgy találták, hogy a szén-dioxid közvetlen hatása akár 5 °C-os hőmérséklet-emelkedés negatív hatását is képes ellensúlyozni.

A meteorológiai tényezőknek a termésre gyakorolt együttes hatása: Az eddig említett vizsgálatok némelyike is több meteorológiai tényező közös hatásával foglalkozott, de

ezekben az esetekben valamelyik tényező kiemelten szerepelt. Most nem rangsorolt komponensek együttes hatását elemző kutatásokat említünk meg.

Antal (1981) a termésre jelentősen ható tápanyagok érvényesülését vizsgálta, s a csapadék, talajnedvesség és talajhőmérséklet bizonyult a legmeghatározóbbnak a szempontból. Hasonló eredményre jutott *Lakatos és Szász* (1991). *Thompson* (1986) 92 év adatait dolgozta fel. Eszerint a legmagasabb kukoricatermések átlagos vegetációs periódus előtti csapadék, átlagos júniusi hőmérséklet és az átlagosnál hűvösebb, de csapadékosabb július-augusztus esetén fordultak elő. *Dunkel* (1984) szerint a növényállomány viselkedésének 1-2 meteorológiai paraméterrel történő leírása eredendően pontatlan eredményt ad. Ugyanakkor meg kell fontolni, hogy a várható termés pontosítása érdekében történő bonyolultabb formulák alkalmazása, valamint a minél több tényező figyelembe vétele arányosan nagyobb haszonnal jár-e.

A légkör megújuló erőforrás, ezért volumenét nehéz becsülni. Kihasználása gazdasági és technológiai felkészültség függvénye. Fejlett mezőgazdasági termelés esetén 25-30 %-os az időjárás átlagos hatása (*Antal* 1992).

1.2.4 A fejlődés, növekedés és termés kapcsolata

Utaltunk már rá, hogy a folyamatok a természetben nem különülnek el. *Singer és Cox* (1998) kutatási eredményei ezt olyan módon fejezték ki, hogy a kukorica termésére a bibeszál-eresztés utáni növekedést jellemző nitrogén-akkumuláció sokkal inkább hatott, mint a fejlődés korábbi, vegetatív időszakának beépülése. *Chapman és Edmeades* (1999) a különböző fázistartamok (fejlődés), illetve a növekedést kifejező levélfelület és növénymagasság termésnövekedésben játszott szerepére mutattak rá. A levélfelület és a termés között *Dhang Thi* (1993) is szoros kapcsolatot mutatott ki.

1.2.5 A meteorológiai viszonyok és a növények kapcsolatának egyéb vonatkozásai

A meteorológiai elemek alakulásával kapcsolatos kérdések: *Anda* (1999) az állományklímával kapcsolatos tudnivalókat tekintette át, melyek ismerete a

növényekkel való kapcsolat szempontjából sem érdektelen. Mind a szél, mind a megfelelő nitrogénellátás mikroklíma-kiegyenlítő hatásúnak bizonyult. Öntözés hatására hosszabb távon a talajközeli hőmérséklet 1 °C-ot meghaladóan csökkent, a relatív légnedvesség 13-19 %-kal nőtt. 1 m magasan a hőmérséklet-csökkenés 0,5 °C, a légnedvesség emelkedése 7-9 %. Ugyanakkor hangsúlyozta, hogy a hőmérséklet állományon belüli vertikális profilja a horizontális eloszlásoknál változékonyabb, a relatív légnedvesség állományon belüli mérése pedig akkora hibával terhelt, ami a számszerűsítést nehezéssé teszi, mert elfedi a különbségeket. Szász (1997) úgy találta, hogy a sorirány akár 4-5 fokos hőmérsékletkülönbséget is jelenthetett a kukoricaállomány belsejében.

A meteorológiai tényezők és a növények kapcsolatának gazdasági vonatkozásai:

Howell et al. (1998) a rövid tenyészidejű hibridek alkalmazásának gazdaságosságát kutatták. E hibridek csökkenthetik az öntözés iránti igényt és korábbi, de kisebb termést adhatnak. Az öntözési költség-megtakarítás 1/8-1/6 része a termés-csökkenés miatti bevételekiesésnek, de ezt ellensúlyozhatja a korábbi piacrajutás árelőnye és a korábban felszabaduló föld hasznosítása. A termesztők kedvelik a korai vetésű kukoricákat egyéb okok mellett azért, mert jobban száradnak, s így kisebb a szárítási költség. Lauer et al. (1999) használatuk lehetőségeit tekintették át. Bullock et al. (1998) szerint az állománysűrűség optimalizálásakor figyelembe kellene venni a területi adottságokat, de a változó állománysűrűség alkalmazása a szükséges információk költségei miatt jelenleg általában nem gazdaságos. Így a kb. 70 ezres hektáronkénti tőszámot találták gazdaságilag optimálisnak. Riedell et al. (1998) a növényi sorrend termésre gyakorolt hatásának gazdasági vonatkozásait vizsgálták. A ráfordítás szintje befolyásolta a vetésváltás hatását; a legmagasabb ráfordításnál eltűnt a vetésváltás és monokultúra közötti produktivitásbeli különbség.

Adatok gyűjtésével és kezelésével kapcsolatos kérdések: Kravchenko és Bullock (2000)

az adatgyűjtés témakörén belül bemutatták, hogy milyen hasznos a topográfiai információk alkalmazása magukban vagy talajtulajdonságokkal együtt a táblaszintű terméshozam-változékonyság magyarázatakor. Sadler et al. (2000a, 2000b) is a termőhelyi változékonyság termésszabályozó szerepét hangsúlyozták, de ők elsősorban talajtérképek felhasználását javasolták. A kísérletekből származó adatok nem megfelelő,

nem koncentrált rögzítése akár adatvesztést is okozhat, de mindenesetre megnehezíti a feldolgozást *van* (Evert *et al.* 1999a, 1999b). Ennek megoldására egy általuk kidolgozott adatmodellt mutattak be, s gyakorlati alkalmazhatóságát is szemléltették.

1.3 AZ ÉGHAJLAT-NÖVÉNY KAPCSOLAT MODELLEZÉSE

A növények kapcsolata a környezettel sokrétű. Gyökereikkel a talajba kapaszkodnak, s onnan veszik fel az asszimilációhoz szükséges vizet és tápanyagokat. Emiatt azonban helyhezköttöttek. Száruk és leveleik a levegőben helyezkednek el. Ennek következtében pedig szoros kapcsolatban vannak a légkörrel. Mivel helyhezköttöttségük miatt nem tudnak elmozogni a légköri hatások elől, az adott helyen lejátszódó légköri folyamatoknak többféle formában is ki vannak téve. Ezért a növényeken a meteorológiai hatások jól kimutathatók.

A talaj-növény-légkör rendszer azonban összetett, amelynek tényezői térben és időben összekapcsolódva változnak. A rendszer működésének leírása csak meghatározott egyszerűsítések mellett lehetséges. Erre a célra szolgálnak az időjárás-növény modellek.

1.3.1 A modellek felépítése

A modellek kidolgozásához mindenképp szakszerűen felépített adatbázisra van szükség. Az adatokat a meteorológiában elsősorban egységes elvekre alapozott hálózatszerű megfigyelésekkel gyűjtik. Ezeket a megfigyeléseket ki lehet egészíteni az egyéb intézményekben végzett megfigyelések adataival, a különböző helyeken végzett kísérletek adataival, valamint a szakirodalomban található publikációk által közölt adatokkal. Egy ilyen adatbázis elég széleskörű ahhoz, hogy különböző problémákat lehessen tanulmányozni rajta.

Az adatbázisban rendelkezésre álló párhuzamos meteorológiai és növényi adatsorok lehetővé teszik tapasztalati összefüggések meghatározását. Természetesen az is egy lehetőség, hogy elméleti ismeretek alapján olyan görbéket illesszünk az adatokra,

amelyek a kapcsolatokat az elméletnek megfelelő matematikai formában írják le. Ilyen esetekben mindig a legjobban illeszkedő görbét kell választani, több azonos értékű megoldás esetén pedig a legegyszerűbbet (Jones 1983).

A párhuzamos meteorológiai és növényi adatsorok közötti kapcsolatok elemzésére legkézenfekvőbb a matematikai-statisztikai módszereket választani. Ezek lehetővé teszik, hogy az adatbázis nyújtotta lehetőségeket a vizsgálati cél elérése szempontjából maximálisan kihasználjuk. A statisztikai módszerek alkalmazásakor az okoz problémát, hogy az időbeli változásokat nehezebben lehet figyelembe venni. Újabban azonban egyre általánosabb az a törekvés, hogy a statisztikai módszerekkel is kövessük az időben egymásra épülő hatásokat. A meteorológiai elemek és a növényi életjelenségek közötti kapcsolatot természetesen lehet úgy is vizsgálni, mint időben változó, dinamikus folyamatot. Erre a célra szolgálnak a dinamikus modellezés módszerei. Az újabb törekvések arra irányulnak, hogy a statisztikai és dinamikus módszerek előnyeit egyesítsék (Frère és Popov 1979, Polevoj 1983). Ezért azt mondhatjuk, hogy a időjárás-növény modellek fontos jellemzője a folyamat-orientáltság (Sakamoto 1981).

Az időjárás-növény modellek készítésekor azt is szem előtt kell tartani, hogy milyen célra készülnek. Amennyiben az a cél, hogy a légkör és a növények közötti kapcsolatot minél jobban megismerjük, akkor a talaj-növény-légkör rendszert a lehető legnagyobb részletességgel kell leírunk (Szász 1981). Ennek ismerete a mezőgazdasági termelés során segíti a környezethez való minél jobb alkalmazkodást.

Az időjárás-növény modellekkel történő vizsgálatok során a statisztikai modelleknek az az előnye, hogy velük történeti adatsorokat is fel tudunk dolgozni. Ez pedig lehetővé teszi, hogy a köztermesztésben alkalmazott fajták hosszú adatsoraira dolgozzunk ki modelleket. Hátránya e modelleknek, hogy csak olyan tényezőkkel dolgozhatunk, amelyekre vonatkozóan a megfigyelések rendelkezésre állnak. A szántóföldi kísérletekre épülő modellek előnye az, hogy előre megtervezett kísérletekre építjük a modellünket, hátránya emiatt, hogy csak viszonylag rövid adatsorok állnak a rendelkezésünkre.

1.3.2 Főbb modelltípusok.

A talaj-növény-légkör rendszer tanulmányozása több tudományterülethez is hozzátartozik, ezért fogalomrendszere nem egységes. *Haun* (1983) rámutatott, hogy nagyon nehéz egységes fogalomrendszert kidolgozni, s azt a közvéleménnyel elfogadtatni. *Baier* (1979) kísérletet tett arra, hogy az e területen alkalmazott fogalomrendszert egységesítse.

A modellek osztályozásakor is érzékelhető e probléma. A modellek sajátos elnevezésével sok esetben a modellek jellegzetességeit, specialitásait szeretnék kiemelni a szerzők, éppen azt kívánják hangsúlyozni, amiben másoktól különböznek. Az egyes modellek alapvetően

- (a) a felhasznált adatanyagban,
- (b) az egyes tudományterületek ismereteinek az alkalmazásában,
- (c) a meteorológiai és nem-meteorológiai hatások szétválasztásának módszerében,
- (d) a hatótényezők kiválasztásának módjában és
- (e) az alkalmazott verifikálási eljárásokban

különböznek egymástól.

Sakamoto (1981) tér- és időbeli reprezentativitásuk alapján osztályozta a modelleket.

A leginkább használatos osztályozás szerint általában két nagy csoportot szoktak egymástól megkülönböztetni, ezek pedig a statisztikai modellek és a dinamikus modellek. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy az 1980-as években egy harmadik csoportot is megemlítenek, mégpedig a dinamikus-statisztikai modelleket, amelyek tulajdonképpen átmenetet képeznek a kettő között (*Szirotyenko* 1981, *Polevoj* 1983).

A statisztikai modellek: Statisztikai modelleknek azokat a modelleket szokták nevezni, amelyek a meteorológiai tényezők és a növényi életjelenségek közötti kapcsolatot a matematikai-statisztika módszereivel elemzik. Ezen a csoporton belül is meg szokták különböztetni az empirikus modelleket és a fizikai-statisztikai modelleket (*Robertson* 1983).

Empirikus statisztikai modelleket leginkább az időjárás-növény kapcsolatok vizsgálatainak első időszakában dolgoztak ki. E modellek lényege, hogy közvetlenül keres kapcsolatot a meteorológiai elemek és a terméshozam között oly módon, hogy a

figyelembe nem vett nem-meteorológiai és meteorológiai tényezőket egyaránt konstansnak tekinti. Ez a módszer azért adhatott jó eredményeket, mert akkor még nem változott olyan gyorsan a köztermesztésben alkalmazott fajta és agrotechnika. Hazánkban ilyen modelleket dolgozott ki *Berényi* (1942, 1945), *Kerek* (1934) és *Pintér* (1955).

A fizikai-statisztikai modellek az időben meghatározott irányban változó tényezőket nem tekintik állandónak, hanem változóként veszik figyelembe. Ezek a változások általában a fajta és az agrotechnika körébe sorolhatók és az évek során többnyire fokozatosan mennek végbe. Az ilyen időben fokozatosan végbemenő változásokat az időbeli trenddel figyelembe lehet venni. Ezért a fizikai-statisztikai modellekben először az agrotechnikai tényezőket (fajta és az agrotechnikai eljárások együtt) és a meteorológiai tényezőket szét kell választani. S attól függően, hogy a meteorológiai tényezők hatásának a trendtől vett eltéréseket (trendanomáliák) vagy a trendarányokat vesszük, beszélünk additív vagy multiplikatív fizikai-statisztikai modellekről.

A dinamikus modellek: Jellemzőjük, hogy az időben egymás utáni meteorológiai hatásokból határozzák meg folyamatosan a növényi életjelenségek alakulását (pl. a biomassza felhalmozódását). Vannak olyan dinamikus modellek, amelyek – többnyire szántóföldi kísérletek alapján – meglehetősen részletesen képesek leírni a talaj-növény-légkör rendszerben lejátszódó folyamatokat, s vannak olyanok, amelyek – rendszerint más célból gyűjtött adatok használata vagy egyéb okok miatt – jelentős egyszerűsítéseket tartalmaznak (*Baier* 1981). Tulajdonképpen az orosz nyelvű irodalomban a részletesebb modelleket nevezik dinamikus modelleknek, a jelentős egyszerűsítéseket tartalmazó modelleket pedig dinamikus-statisztikai modelleknek.

1.3.3 A modellek belső jellemzőinek meghatározása

A modellek kidolgozásához mindenképp szükséges a párhuzamosan megfigyelt vagy mért adatokra van szükség. Az adatok segítségével először a meteorológiai és nem-meteorológiai hatásokat kell elkülöníteni, mert a célváltozóként választott növényi adat (pl. növekedés cm-ben, fenofázis dátuma napokban, termés hozam kg-ban) tartalmazza

magában az összes ráható tényező hatását. Ennek lehetséges menetét és a meteorológiai tényezők növényekre gyakorolt együttes hatása, a komplex meteorológiai hatás számszerűsítését az Anyag és módszer fejezetben ismertetjük.

Ha arra is kíváncsiak vagyunk, hogy az egyes meteorológiai tényezők hogyan hatnak, akkor számba kell venni e tényezőket külön is. Ezek száma azonban oly nagy, hogy az összes hatótényezőt lehetetlen figyelembe venni, ezért a modellezés első és legfontosabb lépése a vizsgált rendszer leegyszerűsítése. A leegyszerűsítés alapja, hogy a rendszer működését alapvető hatótényezői alapján elemezzük.

Ehhez szükség van egy olyan adatbázisra, amely a rendszer szempontjából minden fontos tényezőt tartalmaz. A tényezők elemeinek egy jelentős részét a meteorológiai állomásokon mérik, a többi elemet a mért adatokból kell származtatni (Varga-Haszonits és Tölgyesi 1990a, 1990b). Így kialakul egy olyan agroklimatológiai adatbank, amely a vizsgálandó rendszer elemzésének alapjául szolgálhat.

Az adatbázissal szemben alapvető követelmény, hogy a vizsgálat elvégzéséhez szükséges legalábbis minimális adatmennyiséget tartalmazzon. A vizsgált rendszer egy-egy tulajdonságára vonatkozó adatok minimálisan szükséges számát különböző kutatók különbözőképpen határozzák meg. Általában a matematikai-statisztikában az $n > 30$ mintanagyság már elfogadható, $n > 100$ esetén pedig már nagy mintáról beszélhetünk (Köves és Párniczky 1981). Vannak azonban olyan kutatók is, akik szerint gyakorlatilag már az $n > 20$ mintanagyság is elegendő (Yule és Kendal 1964, Sváb 1979). Ez a követelmény jól egybeesik azzal, a meteorológiában nemzetközileg elfogadott kíváncsolommal, hogy egy éghajlati ciklust legalább 30 évi adatsor alapján jellemezzünk.

A matematikai-statisztikai vizsgálatok szempontjából az a kedvező, ha minél hosszabb az adatsor, vagyis egy-egy tulajdonsággal kapcsolatban minél több megfigyelési adattal rendelkezünk. Célszerű a változók számát úgy megválasztani, hogy az lehetőleg ne legyen több az adatok egyharmadánál vagy méginkább egyhatodánál (Sváb 1979).

E követelmény miatt a feladat úgy fogalmazható meg, hogy ***arra kell törekedni, hogy a rendszert minél kevesebb változóval minél pontosabban jellemezzni tudjuk.*** Az agroklimatológiai modellezés egyik lényegi kérdése tehát a változók kiválasztása. Ezt ismerte fel Davitaja (1948), amikor az agrometeorológiai hatótényezőket biofizikai

fontosságuk alapján csoportokba sorolta (alapvető tényezők, másodlagos tényezők, károsító tényezők). Lényegében ezt az utat követjük ma is.

A meteorológiai tényezők biofizikai rangsorolása azon alapszik, hogy a meteorológiai tényezők közül egyesek a növények általános életfeltételei közé tartoznak. Ezek a tényezők ezért az éghajlat-növény kapcsolatok szempontjából alapvető vagy domináns tényezőknek tekinthetők, s célszerű ezeket független (magyarázó) változókként figyelembe venni (*Varga-Haszonits* 1977). Mások (pld. a sugárzásra ható levegő-összetétel vagy a párolgás alakulását érintő szél) az alapvető vagy domináns tényezők befolyásolásán keresztül fejtik ki hatásukat. Ezeket másodlagos vagy szekunder tényezőknek tekintjük. E tényezőket csak akkor szokták figyelembe venni, ha az alapvető tényezőkre gyakorolt hatásuk számottevővé válik. A harmadik csoportba azok a tényezők tartoznak, amelyek akkor válnak jelentőssé, ha intenzitásuk meghalad egy bizonyos küszöbértéket (pld. fagy, magas hőmérsékleti stressz, aszály). Ezeket a tényezőket káros tényezőkként tartjuk számon. Fellépésükre időszakosan lehet számítani. Figyelembe vételüket ugyancsak az indokolja, ha jelentőssé válnak, vagy pedig éppen hatásuk felmérése a cél.

Meteorológiai ismereteink alapján azonban nyilvánvaló, hogy ezek a tényezők egymással is szoros kapcsolatot mutatnak. Ezt a jelenséget a regressziószámításban multikollinearitásnak nevezik. Következménye pedig az, hogy minél szorosabb a figyelembe vett változók közötti kapcsolat, annál megbízhatatlanabbak lesznek a számított összefüggés együtthatói. Ezért egyes kutatók a változók kiválasztására különböző matematikai-statisztikai módszereket ajánlottak (*Katz* 1979). Ezek a módszerek azonban - mint *Legg* (1981) megállapítja - nem jelentenek előrelépést, mivel a változókkal kapcsolatban nem az a probléma, hogy statisztikai szempontból szignifikánsak-e, hanem, hogy van-e fizikai-fiziológiai jelentőségük. Ezért az agrometeorológiában a multikollinearitás elkerülésére célszerűbb a változókat a vegetációs periódus különböző időszakaiból választani, vagy index-értékeket használni (*Sakamoto* 1981, *Mjelde* 1989). Természetesen e kettő kombinációja is használható.

1.3.4 A vegetációs periódus felosztása

A változókról nemcsak azt fontos tudnunk, hogy melyek az alapvetőek és melyek a kevésbé fontosak, hanem azt is, hogy a vegetációs periódus mely időszakában hatnak erősebben, mely időszakokban kevésbé. Ezért a vegetációs periódust is fel kell osztani rövidebb időszakokra. A vegetációs periódust többféleképpen is tagolhatjuk. Figyelembe vehetjük

- az egész vegetációs periódust (egységes egészként) - Elsőként ésszerűnek tűnik a teljes vegetációs periódus alatti hatásokat osztatlan egészként tekinteni, hogy meglássuk, mely tényezők hatása olyan erős, hogy az az egész tenyészidőszakot tekintve is jelentős marad.
- az egyes fenológiai fázisokat (vetés-kelés, kelés-virágzás, virágzás-érés stb.) - Ezekben a fejlődési szakaszokban a meteorológiai tényezők hatása is eltérő. Amint láthattuk, különösen a növények virágzása előtti és azt követő időszak mutatja a legnagyobb érzékenységet. A meteorológiai hatásokra történő reagálás azonban függ a megelőző időszakok alatti hatásoktól, s más, nem-meteorológiai környezeti tényezőktől is.
- a különböző naptári időszakokat (nap, pentád, dekád, hónap, évszak stb.) - A leggyakoribb a napnál hosszabb naptári időszakok (hónap, dekád) figyelembe vétele. Ezeknek az értékeknek sokévi statisztikai jellemzőik is rendelkezésre állnak. A problémát itt az jelenti, hogy a különböző években ugyanazon naptári időszakokban a növény különböző fejlettségi állapotban lehet.
- tetszés szerinti hosszúságú időszakokat – Ennek csak akkor van igazán értelme, ha ezek az időszakok a növények igényének változásait tükrözik. Ezért ezen időszakok kiválasztásának a növények igényein kell alapulnia.

1.3.5 Verifikáció

A modell kidolgozása után meg kell győződni arról, hogy a modell által kapott eredmények mennyire egyeznek meg a ténylegesen mért adatokkal. Mivel sztochasztikus kapcsolatról van szó, a kettő teljes megegyezése nem várható. Kis eltérés esetén a modell a gyakorlatban felhasználható, nagyobb eltérés esetén azonban a modell további javítása szükséges.

A verifikáció első és legfontosabb feltétele, hogy kellő mennyiségű adattal rendelkezünk. Amennyiben ez a lehetőség megvan, akkor célszerű az adatbázist két részre

osztani: bázismintára, amelyen a modellt kidolgozzuk és tőle független tesztmintára, amelyen ellenőrizzük. Az adatok kettéosztása történhet térbeli, időbeli és tér- és időbeli alapon (*Varga-Haszonits 1977*).

A verifikáció lényege, hogy a modell által meghatározott értékek és a valóságról más úton szerzett információkból (pl. mérésekből) származó értékek között végzünk összehasonlítást. A kettő között minél kisebb az eltérés, annál jobbnak tartjuk a modellt, s minél nagyobb az eltérés, annál gyengébb a modellel történő közelítés.

A modellek kidolgozása tehát nagy mértékben függ - elsősorban a rendelkezésre álló adatbázis miatt - a helyi lehetőségektől is. Az adatoknak a mennyisége és a minősége egyaránt befolyással van a modellekben történő felhasználásukra (*Acock 1989*).

1.3.6 A modellépítés hazai lehetőségei

Hazánkban a meteorológiai megfigyelések adatsorai a II. világháború következtében az 1940-es években meglehetősen hiányosak. Megszakítás nélküli adatsorok lényegében csak a háború utáni évektől állnak rendelkezésre. Mivel egy-egy éghajlati ciklus legalább 30 évet foglal magába, az elemzés alapját az 1951-től kezdődő 30 éves vagy hosszabb, teljes évtizedre kiterjedő időszakok jelenthetik.

A terméshozam adatok megyékre vonatkozóan állnak rendelkezésre a Központi Statisztikai Hivatal gyűjtésében. Mivel a megyék jelenlegi határait is 1950-ben alakították ki, emiatt itt is az említett időszakok képezhetik az elemzés alapját. Hasonló a helyzet a fenológiai adatok területén is, ahol ugyancsak az 1950-es évektől állnak rendelkezésre adatok, amelyek a fajtakísérleti állomásokról származnak.

Ezeknek az adatoknak az alapján alakítottunk ki egy agroklimatológiai adatbankot, amely a nemzetközi irodalomból általánosan ismert agroklimatológiai adatbázisoknál szélesebb körű alapot jelent a modellek kidolgozásához. A termésadatok miatt az adatbank területi egysége a megye. Minden megyéhez tartozik egy referencia állomás (Győr, Szombathely, Zalaegerszeg, Kaposvár, Pápa, Tatabánya, Martonvásár, Iregszemcse, Pécs, Kecskemét, Budapest-Pestszentlőrinc, Szolnok, Szeged, Békéscsaba, Debrecen, Nyíregyháza, Miskolc, Kompolt és Balassagyarmat), amelynek meteorológiai adatai képezik a vizsgálatok alapját.

A vizsgálatokban ezenkívül figyelembe vettük még a Nyugat-Magyarországi Egyetem Mosonmagyaróvári Mezőgazdaságtudományi Karának kísérleti telepén végzett többéves szántóföldi kísérletet, amelynek során fenológiai, növekedési és termésadatokat gyűjtöttünk. Ez a vizsgálat agrometeorológiai szempontból szorosan kapcsolódott a nemzetközi irodalomban folyamat-orientáltként ismert modellekkel kapcsolatos kutatásokhoz.

Így a szakirodalomban kidolgozott elméleti alapokra helyeztük a kísérleti adatgyűjtést és a modellek kidolgozását is.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A meteorológiai tényezők és a kukorica növekedése, fejlődése és produktivitása közötti kapcsolat vizsgálatához alapvetően két módszert alkalmaztunk. Egyfelől a Nyugat-Magyarországi Egyetem Mosonmagyaróvári Mezőgazdaságtudományi Kara Matematika-Fizika Tanszékének Meteorológiai Csoportján belül működtetett Agroklimatológiai Adatbázis számítógépes elemzését végeztük el (a vegetációs periódus meteorológiai viszonyainak jellemzésekor, a fejlődéssel és a produktivitással kapcsolatos vizsgálatok esetén), másfelől a Mosonmagyaróvári Kar Nemesítési és Termesztéstechnológiai Állomásán 1997-99 közötti (és azóta is folytatódó) folyó szántóföldi kísérletek jelentették a meteorológiai tényezők és a növekedés összefüggéseit kutató munka alapját. Az alábbiakban e vizsgálatok körülményeit ismertetjük.

2.1 SZÁNTÓFÖLDI KÍSÉRLETEK

Az agrometeorológia alapelve a párhuzamosan végzett meteorológiai és mezőgazdasági adatgyűjtés szükségessége. A mezőgazdasági adatok alapjául a Mosonmagyaróvári Kar Nemesítési és Termesztéstechnológiai Állomásán 1997 és 1999 között folyó kísérleteink szolgáltak, míg a meteorológiai adatokat a kukoricakísérletek helyétől néhány tíz méteres távolságban elhelyezkedő mosonmagyaróvári meteorológiai állomás szolgáltatta. Ezek kiegészítésére talajnedvességi méréseket is végeztünk.

2.1.1 Meteorológiai megfigyelések

Az állomáson - minthogy egyszerre éghajlati és szinoptikus állomásról van szó - a meteorológiai elemek széles körét mérik és rögzítik óránkénti gyakorisággal. Ezek közül a vizsgálatba a 3 év (1997-99) május 1.-től október 31.-ig terjedő időszakra vonatkozó csapadék, relatív (lég)nedvesség, napfénytartam, minimum hőmérséklet, átlaghőmérséklet, maximum hőmérséklet, valamint különböző mélységekben (2 cm, 5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm, 100 cm) mért talajhőmérséklet adatait vontuk be. A napi értékekből dekád értékeket képeztünk, hogy a megfelelő időszak mezőgazdasági adataival összefüggésbe hozhatók legyenek. A meteorológiai állomás által mért adatokat rendszeresen (10 naponként) végzett gravimetriás talajnedvességi mérésekkel tettük teljesebbé. A hagyományos módszer mellett a vizsgálatok 3 éve közül 2 évben az elektronikus elven működő 3T-műszer különböző változataival (összesen 4-el) végeztünk összehasonlító méréseket azzal a nem titkolt szándékkal, hogy a hagyományos, megbízhatónak elfogadott, de munka- és időigényes gravimetriás módszert - megfelelő eredmények esetén - az új, gyorsabb és több mérést lehetővé tevő módszerrel váltsuk fel mind e kísérletben, mind pedig ennek jövőbeli tervezett (és megvalósult) folytatásában.

A gravimetriás talajnedvességi méréseket a kukorica vetésétől betakarításáig minden dekád 1. napján végeztük minden hibrid esetén 3 ismétlésben 10 cm-es lépésekkel 1 m-es mélységig. A dekád 1. napján mért értékeket az egész dekád jellemzésére használtuk. A mérési sűrűség oka, hogy a növényekre vonatkozó növekedési adatokat is ilyen gyakorisággal gyűjtöttük. A légmentesen záródó dobozokba gyűjtött mintákból a meteorológiai állomáson belül berendezett laborban (a kísérlet 1. évében, a labor elkészülte előtt az - akkori - Talajtani Tanszék szíves együttműködésével) 25-25 g-ot bemértünk, majd szárítószekrényben 105 °C-on 24 óráig szárítva visszamértük a száraz talaj tömegét, s e kettőből megállapítottuk a különböző talajrétegek száraz talajtömegre vonatkoztatott talajnedvességét. A vegetációs periódus végén a vizsgálati terület talajának alapvető talajtani paramétereit (szántóföldi vízkapacitás, holtvíz-tartalom, térfogattömeg) meghatározva lehetővé vált, hogy a

talajnedvességi értékeket a növényi igények szempontjából jellemző diszponibilis víz százalékában határozhatjuk meg, azaz azt adjuk meg, hogy adott időpontban, adott rétegben a növények számára maximálisan hozzáférhető víz hány százaléka van jelen.

Az ehhez kapcsolódó 3T-műszerrel végzett talajnedvességi méréseket a gravimetriás méréseket közvetlenül követő időpontban, hibridenként 10 ismételtsben végeztük, oly módon, hogy a műszer cm-enként rögzítette elektronikus adathordozó egységére az adott réteg talajnedvességi és talajjelenállásra vonatkozó értékeit. E méréseket a Kar Földműveléstani Tanszékével együttműködésben végeztük, s ez utóbbi (talajjelenállási) értékek az ő számukra voltak informatívak. Az adathordozókról az információkat a Földműveléstani Tanszék megfelelő leolvasóval és szoftverrel ellátott gépének segítségével alakítottuk vissza, majd az egy hibridre vonatkozó 10 mérés átlagolása után 1-10, 11-20, 21-30 stb. cm-es értékeket képeztünk így módon téve összehasonlíthatóvá a kétféle talajnedvesség-mérési módszert. (A 3T-s méréseket a gravimetriásnál gyakrabban végeztük, a dekádok 1. napja mellett a dekádok középső napján is, abban a reményben, hogy jó használhatóság esetén pontosabb képünk lehet a talajnedvesség alakulásáról, de csak az azonos időpontban végzett méréseket használtuk fel az összehasonlításhoz.) 1998. május 11-től 1999. augusztus 21-ig a 3T-műszer hordozható típusának 3 változatát teszteltük. 1998-ban egy 40 illetve egy 80 cm mélységig mérni képes műszert, 1999-ben pedig egy 50 cm-est használtunk. A gyakori váltásokat a műszerek mechanikus, illetve elektronikus részeinek meghibásodásai, valamint 1998 júliusában a régebbi fejlesztést megtestesítő 40 cm-esről a korszerűbb 80 cm-esre való áttérést a 40 cm-es műszer szemmel látható túlmérései indokolták.

A gravimetriás és a gyorsmódszerrel végzett mérések összehasonlító eredményeit a 2.1 és 2.2 táblázatok mutatják be. A táblázatokban alkalmazott jelölések magyarázata a 2.1 táblázat alatt található. A 2.1 táblázatból látható, hogy a más talajtípuson (a Tiszántúlon) kifejlesztett műszert kalibrálása nem tette alkalmassá a mosonmagyaróvári öntéstalaj esetén való alkalmazásra egyetlen mélység és egyetlen változat esetén sem. A 2.2 táblázat szerint az egyes napokon a talajnedvességi profilt nagyjából a gravimetriásnak megfelelően mutatják be e műszerek eredményei, de általános hibájuk, hogy hajlamosak a túlmérésre. A 40 cm-es műszernél ez olyannyira

igaz, hogy e műszer ritkán mért 90 % alatti értéket. Leginkább a 80 cm-es műszer bizonyult használhatónak, de a kalibráláson itt is van javítani való.

Az 1999-es vegetációs periódus vége felé lehetőség nyílt a 3T-műszer stabil változatának letelepítésére az egyik hibrid talajába. E változat a talajnedvesség mellett talajhőmérsékleti értékeket regisztrált 10 cm-enként 80 cm mélységig. 14 napon keresztül 3 órás gyakorisággal érzékelte és rögzítette ezen paramétereket a műszer. Lehetőségünk nyílt a hosszabb idejű adatgyűjtésre, de e 2 hét elégségesnek bizonyult a változat megismeréséhez.

2.1 táblázat. A gravimetriás és a 3T műszerrel elvégzett talajnedvesség-mérések eredményeinek összehasonlítása a mérések mélysége alapján (lineáris összefüggés, r-értékek)

Mélység(cm)	grav-3T(40cm)		grav-3T(50cm)		grav-3T(80cm)		grav-3T(összes)	
	r-érték	eset	r-érték	eset	r-érték	eset	r-érték	eset
1-10	0.2839	8	0.5704	12	0.5727	12	0.0663	32
21-40	0.3848	8	0.2970	12	0.3102	12	0.0970	32
21-30	0.2480	8	0.6741	12	0.4755	12	0.2456	32
31-40	0.2728	8	0.0592	12	0.1873	12	0.0583	32
41-50		0	0.4281	12	0.1217	12	0.1619	24
51-60		0		0	0.2209	12	0.2209	12
61-70		0		0	0.3909	12	0.3909	12
71-80		0		0	0.3476	12	0.3476	12
együttesen	0.2933	32	0.0970	60	0.6410	96	0.1775	188

A jelölések magyarázata:

szám- nem szignifikáns

szám- 10%-os szinten szignifikáns

szám- 5%-os szinten szignifikáns

szám- 2%-os szinten szignifikáns

szám- 1%-os szinten szignifikáns

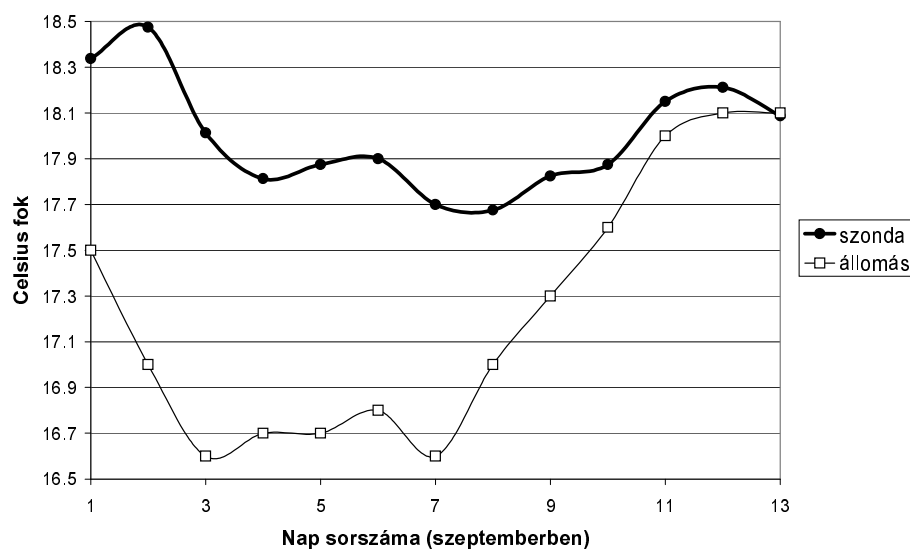
szám- 0,1%-os szinten szignifikáns

2.2 táblázat. A gravimetriás és a 3T műszerrel elvégzett talajnedvesség-mérések eredményeinek összehasonlítása a mérések időpontja alapján (lineáris összefüggés, r-értékek)

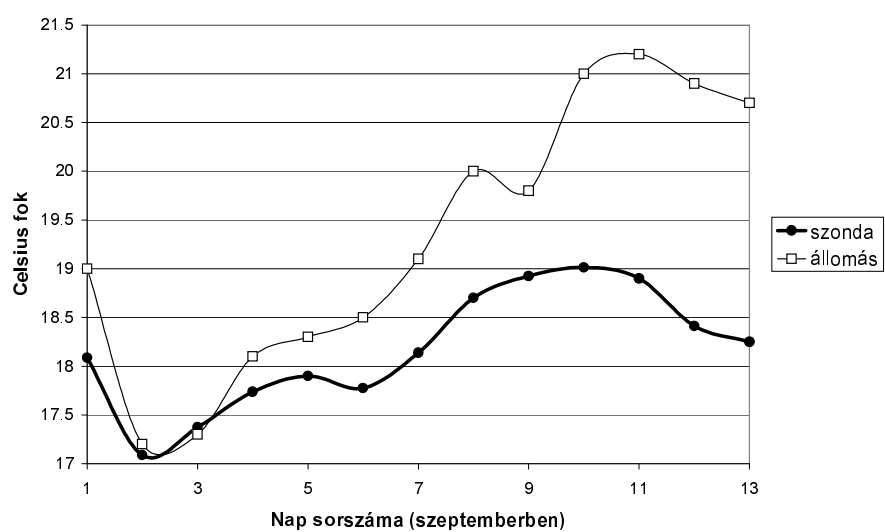
Időpont	grav-3T(40cm)		grav-3T(50cm)		grav-3T(80cm)	
	r-érték	esetszám	r-érték	esetszám	r-érték	esetszám
május 11.	0.8283	8				
május 21.	0.6529	8				
június1.			0.7152	10		
június11.	0.1688	8	0.9148	10		
június21.					0.8555	16

július 1.	0.4575	8	0.0173	10	0.6739	16
július 21.					<u>0.8325</u>	16
augusztus 1.			0.3924	10	0.1646	16
augusztus 11.			0.7727	10	<u>0.8513</u>	16
augusztus 21.			<u>0.9179</u>	10	<u>0.8291</u>	16

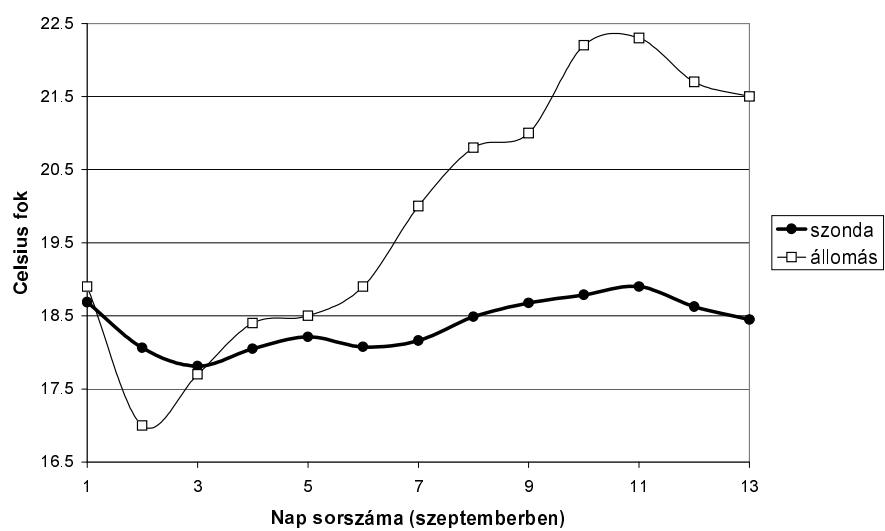
A szonda által, kukorica állomány alatt mért talajhőmérsékletekre jellemző, hogy jól követik a meteorológiai állomáson (fűtakaró alatt) mért értékeket. 10, 20 illetve 50 cm mélységben mért talajhőmérsékletek esetén vált megvalósíthatóvá az összehasonlítás. Szembetűnő, hogy a meteorológiai állomáson (ezen mélységek bármelyikében) mért 17,5-18,5 °C-os értékek esetén a szonda kukorica állományban mért értékei is közel hasonlóak. Ha az állomáson mért hőmérséklet ezen intervallum alá csökkent, az állomány alatti hőmérséklet csak csekélyebb mértékben követte azt; az állomás 18,5 °C fölötti hőmérsékletei esetén viszont a növényállomány alatti hőmérséklet maradt az alacsonyabb, így jól nyomon követhető, hogy az állomány alatt a talajhőmérséklet mindig kiegyensúlyozottabb, mint az állományon kívül. Mindezt a 2.1-2.3 ábrák szemléltetik.



2.1 ábra. Talajhőmérséklet napi átlagai 50 cm-es mélységben



2.2 ábra. Talajhőmérséklet napi átlagai 20 cm-es mélységben



2.3 ábra. Talajhőmérséklet napi átlagai 10 cm-es mélységben

Ugyanakkor a szonda által mért talajnedvességi értékek 1999. augusztus 31. és szeptember 14. között csak elvétve voltak 90 % alatt, ami a gravimetriás mérések ismeretében - akárcsak a 40 cm-es mobil változatnál - jelentékeny mértékű túlmérést jelez, s lehetetlenné teszi az eredmények értékelését.

2.1.2 Növényi adatok

A növényi adatok a Mezőgazdaságtudományi Kar Nemesítési és Termesztéstechnológiai Állomásán 1997-99 között végzett kísérleteinkből származnak. A kísérletbe bevont hibridek: a 450-es FAO-számú Mv 444 (1997-99 között) és a 380-as FAO-számú Asgrow 043 (1998-99 között). A hibridek ilyen megválasztásának oka, hogy a kísérlet kezdeti évében, 1997-ben a 149 államilag elismert szemeshibridből 55 db (36,9 %) korai érésű (FAO 300), 52 db (34,9 %) pedig középérésű (FAO 400) volt (OMMI 1997). A fajtacsoportból való hibridválasztás a Termesztéstechnológiai Állomás szakembereinek javaslatára történt azon szempont figyelembevételével, hogy köztermesztésben elterjedten használt és várhatóan még hosszabb ideig használatban levő hibrid reprezentálja az egyes csoportokat. A kísérleti terület talajvizsgálati adatai *Kajdi* (1998) szerint a következőképpen alakultak a 90-es évek második felében (1995-97 átlagai) a felső 60 cm-es talajrétegben: a kémhatás közel szemleges (7,4-7,5 körüli pH-értékekkel), az Arany-féle kötöttségi szám: 52-55 közötti, az összes só % 0,04 és 0,08 közötti, ami lefelé haladva veszi fel a magasabb értékeket, a CaCO_3 és a humusz % lefelé csökken 18-14 illetve 2,85-2,25 %-os intervallumban. A kísérlet területének talaja a karbonátos Duna-öntéstalaj talajtípusba tartozik. A kísérletek évente változó helyen, de egymástól maximum néhány 10 m távolságban folytak, s tekintettel arra, hogy egy-egy hibrid kísérleti területe kb. 200 m²-t tett ki, így a kísérletek a 3 év folyamán egy néhány száz m²-es területen belül maradtak.

A hibrideket természetes csapadékelátottságú körülmények között termesztettük, mérsékelt NPK adagok mellett. Az alkalmazott hektáronkénti tőszám

minden évben a 70 000 tő/ha-os érték körül mozgott. A vizsgálati időszakban gyomirtást alkalmaztunk.

Mintát a vegetációs periódus folyamán 10 naponként vettünk a hibridekből. A mintavételek időpontja: a dekád 1. napja. A növényi adatok kiterjedtek a növénymagasság, a levélfelület és a szárazanyag gyarapodására. Kezdetben 10-10 növény jelentette a mintát, amely szám a vegetációs periódus előrehaladtával és a növények méretének gyarapodásával csökkent. A magasság megállapítása mérőszalaggal történt. A levélfelület nagyságának méréséhez a begyűjtött növények levelét eltávolítva, majd lefénymásolva az ELTE Meteorológiai Tanszékétől kapott körülíró planimétert használtuk. A szárazanyag megállapításához kezdetben a teljes növényeket 24 órán keresztül 105 °C-on szárítottuk ki, majd a vegetációs periódus későbbi szakaszában e növények szerveit (leveleit, szárát, generatív részeit) külön válogatva ezekből is mintát vettünk, s ez alapján számoltuk a teljes növények adott időpontra vonatkozó száraz tömegét.

Feljegyeztük a fontosabb fenológiai jelenségek (vetés, kelés, címerhányás, teljes érés) bekövetkezésének időpontjait is.

A betakarítást, a csövek kézi törését követően meghatároztuk a (14 %-os nedvesség tartalomra átszámított) terméshozamot, a termésre vonatkozó egyéb paramétereket (pl. betakarításkori nedvességtartalom, csőhossz, ezerszemtömeg). A Kar Növénytermesztési Intézetének laboratóriumában, valamint részben a Takarmányozástani Tanszék laboratóriumában megtörtént a hibridek beltartalmi vizsgálata: megállapítottuk a keményítő-, nyersfehérje-, makro- és mikroelem-tartalmat, valamint - egyes években - az aminosav-összetételt.

A vizsgálatok ezen két utóbbi csoportjából nyert adatokat azonban nem használtuk fel a dolgozat összeállításakor, mivel ezeknek csak hosszabb időre vonatkozó adatsorai jelenthetik egy vizsgálat alapját. Ezért a kísérletet a további években is folytatjuk, főként a meteorológiai tényezők és a beltartalom összefüggésének jobb megismerése céljából.

2.1.3 A meteorológiai és növényi adatok közötti összefüggések vizsgálata

Az agrometeorológia tárgyát képező vizsgálat értékeléséhez a matematikai statisztika és a számítástechnika alkalmazása vált szükségessé. Az előbbiből éppúgy felhasználtuk az egyszerű statisztikai módszereket (pl.: átlag- illetve attól való eltérés számítása), mint az egy- és többváltozós összefüggés-vizsgálatokat, a számítógépes programok közül pedig elsősorban az Excel különböző verzióit és a Statistica 4.5-öt használtuk.

2.2 AZ AGROKLIMATOLÓGIAI ADATBÁZIS ELEMZÉSE

Ezen vizsgálatokhoz a Nyugat-Magyarországi Egyetem Mosonmagyaróvári Mezőgazdaságtudományi Kara Matematika-Fizika Tanszékének Meteorológiai Csoportján belül működtetett Agroklimatológiai Adatbázist használtuk.

2.2.1 A vegetációs periódus meteorológiai viszonyaira vonatkozó elemzés

Vizsgálatunkat az elmúlt négy évtized (1951-1990) megfigyelési adataira építettük. Ezeket a megfigyeléseket az Országos Meteorológiai Szolgálat megfigyelőhálózata végezte. A hálózatból megyénként egy állomást választottunk ki. Ezek az állomások (nyugat-kelet irányban és észak-dél irányban haladva) a következők:

Győr, Szombathely, Zalaegerszeg, Kaposvár, Pápa, Tatabánya, Martonvásár, Iregszemcse, Pécs, Kecskemét, Budapest (Pestszentlőrinc), Szolnok, Szeged, Békéscsaba, Debrecen, Nyíregyháza, Miskolc, Kompolt és Balassagyarmat.

E vizsgálataink a havi adatokra épülnek. A havi adatok, amelyek az egyes elemeknek megfelelően lehetnek összegek vagy átlagok, átfogó képet adnak a meteorológiai elemek idő- és térbeli eloszlásáról. Ezen elemzésbe a kukorica vegetációs periódusába tartozó hónapok (április-október) mellett – a teljesség kedvéért – a többi hónapot is bevontuk.

A sugárzási adatokat a *Varga-Haszonits és Tölgyesi* (1990) által ismertett módszerekkel számítottuk ki. A potenciális párolgás, a tényleges párolgás és a talajnedvesség adatait *Bussay et al.* (1993) és *Lambert et al.* (1993) által kidolgozott módszerrel számítottuk. A relatív talajnedvesség értékeit a diszponibilis víz és a maximális diszponibilis víz hányadosaként határoztuk meg. Azt fejezi ki, hogy a talaj mindenkor hasznos víztartalma hányad része a maximális hasznos víztartalomnak. Az értékek 100-zal történő szorzása útján az egyes mennyiségeket százalékban adhatjuk meg.

Az alkalmazott módszerek közül az évi menet meghatározása alapvetően fontos. Ez történhet az egymás után következő havi adatok egyszerű bemutatásával vagy ezeknek az adatoknak a grafikus ábrázolásával vagy mindkettővel egyszerre. Csak az évi menet ismeretében tudjuk meghatározni az egyes hőmérsékleti értékek (kukorica esetén az általánosan elfogadott 10 °C-os bázishőmérséklet) átlépésének időpontjait, amelyek meghatározzák egyúttal a hőmérsékletileg lehetséges vegetációs periódus hosszát is. Az egyes hőmérsékleti küszöbértékek meghatározásának módjait már korábbi munkáinkban (*Varga-Haszonits et al.* 1996; *Varga-Haszonits és Varga* 1999) ismertettük, ezért ezekre itt nem térünk ki.

A területi eloszlás érzékeltetésére két módszer lehetséges. Gyakran használatos, érzékletes módja a területi eloszlás bemutatásának a térképes ábrázolás. Egy ilyen térképen szemmel érzékelhető az adott elem változása. Az általunk is használt egyszerű módszer azon alapul, hogy az adatokat feltüntető táblázatban az állomásokat úgy soroljuk fel, hogy azokból a területi eltérések is kiolvashatók legyenek. Erre hazánkban megfelelő az állomások nyugat-keleti és észak-dél irányú felsorolása. Ekkor a táblázatban a Dunántúl, az Alföld és Észak-Magyarország állomásai jól elkülöníthetők, s ezeken belül is felismerhetők a területi különbségek.

2.2.2 A meteorológiai tényezők fejlődésre gyakorolt hatása

E vizsgálathoz is a tanszéken található adatbázist használtuk fel. Az adatbankban az ezen alfejezet elemzéseéhez szükséges (mért és számított) meteorológiai adatok napi bontásban is rendelkezésre állnak. A napi adatokból képezhetők a szükséges

időtartamra vonatkozó értékek. Az adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálat megfigyelőhálózata mérte. Az Adatbank 11 megfigyelőhelyről (FAO 300-as hibridek /korai éréscsoport/ esetén: Abaújszántó, Debrecen, Iregszemcse, Kompolt, Székkutas, Szombathely, Tordas illetve FAO 400-asoknál /középkorai éréscsoport/: Debrecen, Iregszemcse, Kaposvár, Karcag, Mátételke, Székkutas, Szombathely, Szarvas, Tordas) származó különböző hosszúságú, az 1960-85 közötti időszakokra vonatkozó kukorica fenológiai adatokat is tartalmaz. A fenológiai adatok az Országos Fajtaminősítő Intézet megfigyeléseiből származtak. Ez tette lehetővé, hogy a meteorológiai adatok és a növényi adatok között összefüggéseket állapítsunk meg. A fenológiai és meteorológiai adatok összefüggésének elemzésekor az alábbi fenológiai és meteorológiai megfigyelőállomások adatait párosítottuk össze: Abaújszántó-Miskolc, Debrecen-Debrecen, Iregszemcse-Iregszemcse, Kaposvár-Kaposvár, Karcag-Szolnok, Kompolt-Kompolt, Mátételke-Kecskemét, Szarvas-Szarvas, Székkutas-Szeged, Szombathely-Szombathely, Tordas-Martonvásár.

Az összes adatot számítógépen az Excel program segítségével számértékek formájában rögzítettük. Ezek alól a fenológiai adatok kivételek, hiszen ezeket dátumszerűen jegyezték fel, ezért ezen fenológiai dátumokat számértékekké kellett átalakítani. Ezt oly módon hajtottuk végre, hogy a fenológiai fázisok bekövetkezésének időpontját az év adott napjának, a január 1. -jétől számított, sorszámaként tüntettük fel.

A meteorológiai tényezők és a fenofázisok közötti kapcsolatot matematikai statisztikai módszerekkel (regressziós függvényekkel) határoztuk meg. Ennek első lépéseként meghatároztuk, hogy a fenofázisok az év hányadik napján következtek be. Legyen az első fenofázis F_1 , a második F_2 , ... stb., az utolsó pedig F_k . Akkor a fenofázis tartama napokban (n) a két egymást követő fenofázis különbségeként adódik:

$$n = F_k - F_{(k-1)} \quad (2.1)$$

Ha ismerjük a fenofázisok tartamát, akkor összefüggésbe tudjuk hozni a meteorológiai elemekkel:

$$n=f(m_1, m_2, \dots, m_k) \quad (2.2)$$

ahol $m_1, m_2, \dots, m_k$ - az egyes meteorológiai elemek értékei.

Az alfejezetben található meteorológiai tényezők közül a korábban nem említettek a következő módon képezhetők (*Varga-Haszonits 1987, Varga-Haszonits 1998*): *Radiotermikus index*: adott időszak átlaghőmérsékletének és globálisugárzás összegének hányadosa. *Fototermikus index*: adott időszak átlaghőmérsékletének és napfénytartam összegének hányadosa. *Fotohőmérséklet (a nappali időszak hőmérséklete)*: a napi maximum hőmérsékletből kivonjuk a napi maximum- és minimum hőmérséklet különbségének negyedét. *Niktohőmérséklet (az éjszakai időszak hőmérséklete)*: a napi minimum hőmérséklethez hozzáadjuk a napi maximum- és minimum hőmérséklet különbségének negyedét.

2.2.3 A meteorológiai tényezők produktivitásra gyakorolt hatása

Az elemzéshez az 1951-95-ös időszak (mért és számított) meteorológiai adatait használtuk, melyeket az adatbázis napi bontásban is tartalmaz. Az adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálat megfigyelőhálózata mérte. Ugyanezen időszakra a megyei kukorica termésadatok is rendelkezésre állnak, melyeket a *Statisztikai Hivatal Évkönyvei* szolgáltatottak. A terméshozam adatok megyei átlagokként álltak rendelkezésre. S mivel a rájuk gyakorolt meteorológiai hatásokat szeretnénk megvizsgálni, minden megyében kiválasztottunk egy meteorológiai állomást, amelyet az adott területre reprezentatívnak tekintettünk. A napfénytartam, a sugárzás és a hőmérséklet esetében a reprezentativitás biztosítottnak tekinthető, mert ezek az adatok nagy területre érvényesek. A nedvességi adatok (légnedvesség, csapadék, párolgás és talajnedvesség) viszont már kisebb területen belül is jelentősen változhatnak, elsősorban a csapadék, amely sem időben, sem térben nem folytonos elem. Záporszerű, kisebb területre jellemző csapadékok azonban inkább csak a nyári hónapokban fordulnak elő. Ugyanakkor a kisebb területre jellemző kedvező vagy kedvezőtlen hatások kiegyenlítődnek a megyei termésátlagokban. Ismerve tehát hazai viszonyainkat, úgy gondoljuk, nem követünk el zavaró hibát, ha megyénként egyetlen állomást választunk

ki. Ezek az állomások a következők: Győr, Szombathely, Zalaegerszeg, Kaposvár, Pápa, Tatabánya, Martonvásár, Iregszemcse, Pécs, Kecskemét, Budapest, Szolnok, Szeged, Békéscsaba, Debrecen, Nyíregyháza, Miskolc, Kompolt és Balassagyarmat.

Az összefüggést a rendelkezésre álló termés adatokból a regresszióanalízis módszerével határoztuk meg. A termésadatok elemzésénél a következőkben ismertetett módszert használtuk (Varga-Haszonits 1986). A rendelkezésünkre álló termésadatokat egy olyan koordináta rendszerben ábrázoltuk, amelyben a vízszintes tengelyen az éveket, a függőleges tengelyen a terméshozamokat tüntettük fel, amint az az Eredmények fejezet 3.18 ábráján látható. A pontthalmaz időbeli változásának tendenciáját folytonos vonallal jelölt függvény (trendfüggvény) mutatja. A terméshozamok alakulásának időbeli tendenciáját olyan alapvető tényezők idézték elő, mint az alkalmazott hibridek, alkalmazott műtrágya mennyisége és az alkalmazott növényvédelmi eljárások összessége. Tehát alapvetően mezőgazdasági tényezők, amelyek évről évre csak igen kis mértékben változnak. A terméshozamok azonban évről évre igen jelentős mértékben is ingadozhatnak. Ezeket a jelentős mértékű ingadozásokat csak olyan tényezők idézhetik elő, melyek maguk is évről-évre jelentős változásokat mutatnak. Ilyen tényezők a meteorológiai tényezők. Ezért a trendértékektől való eltéréseket tekintjük a meteorológiai hatások mértékének. Ezeket az eltéréseket azonban általában nem az abszolút értékekkel adjuk meg, hanem többnyire a tényleges értékekhez viszonyított arányukkal (a trendarányokkal). Ez azt jelenti, hogy hasonló meteorológiai hatások a terméshozamokban hasonló arányú változásokat idéznek elő, vagyis az $f(m)$ meteorológiai hatást a tényleges terméshozam és a trendérték hányadosának értékével fejezzük ki:

$$f(m) = Y_{(t)} / Y_{o(t)} \quad (2.3)$$

ahol $Y_{(t)}$ - a t-edik évben mért terméshozam

$Y_{o(t)}$ - a t-edik évhez tartozó trendérték.

Mint utaltunk rá, a meteorológiai befolyás meghatározására kétféle lehetőség közül választhatunk. *Ha additív hatást feltételezünk, az azt jelenti, hogy a meteorológiai hatás hozzáadódik az agrotechnikai hatáshoz, tehát - mivel minden valószínűség szerint*

a vizsgált időszakban a meteorológiai hatás időbeli változása (véletlenszerű) változékonyság, s nem valamilyen tendenciaszerű megváltozás - 1951-től 1995-ig viszonylag alacsony és magas termések esetén is a trendtől való eltérés nagyságrendje hasonló. Ha ez lenne a helyzet, trendeltéréssel tudnánk kifejezni a kukorica produktivására gyakorolt komplex meteorológiai hatást. *Ha multiplikatív a meteorológiai hatás, úgy összeszorozódik az agrotechnika által indokolt szinttel*, s így a trendgörbétől való eltérés nagyobb termések mellett nagyobb, a (2.3) egyenlettel meghatározható trendarány nagyságrendje viszont a vizsgált időszakban közel azonos lesz. Ez utóbbit szemléletesen mutatja a 3. fejezetben szereplő 3.19 ábra, s bizonyítja, hogy a komplex meteorológiai hatást ez esetben trendarányok formájában kell kifejeznünk.

Ez az összefüggés - mint már említettük - a komplex meteorológiai hatást fejezi ki, vagyis azt, hogy a meteorológiai elemek adott együttese egy adott évben milyen hatást gyakorolt a terméshozamra. Amikor az egyes tényezők hatásaira vagyunk kíváncsiak, akkor a meteorológiai tényezőket külön-külön kell figyelembe venni, vagyis az

$$Y_{(t)}/Y_{0(t)} = f(m_1, m_2, \dots, m_k) \quad (2.4)$$

függvényt kell kiszámítanunk.

A növények sugárzáshasznosítását a növények által elnyelt és megkötött energiának az adott helyen földfelszínre érkező összes fotoszintetikusán aktív energiamennyiséghez viszonyított aránya fejezhető ki (*Varga-Haszonits* 1998). A megkötött energia meghatározásához a gazdaságilag hasznos terméshozamokból indulunk ki. Ez az érték általában rendelkezésre áll, a megyei termésátlagokat a Statisztikai zsebkönyv tartalmazza. A harvest index vagy szem-szalma arány (K_{GAZD}) azt fejezi ki, hogy a gazdaságilag hasznos termés hányad része a zöldtömegnek. Így a terméshozam és a harvest index (kukorica esetén 0,5) hányadosaként az adott területen előállított biomasszát kapjuk meg. (A gyökérzetet - annak meghatározási nehézségei miatt - figyelmen kívül szokás hagyni.) Ismerve az egységnyi biomassza előállításához szükséges energiamennyiséget ($Q_0 = 17000 \text{ KJ/kg}$), megismerjük a megkötött energia

mennyiségét. Ugyanakkor a vegetációs periódusra vonatkozó fotoszintetikusan aktív sugárzás értéke a mért globálisugárzási adatok kettővel való elosztása révén egyszerűen meghatározható. Így a megkötött és leérkező energia hányadosaként a sugárzáshasznosulás számítható, s - általában - %-os formában kifejezhető.

A vízhasznosulás az egységnyi biomassa előállításához szükséges vízmennyiség, általánosan használt típusai a csapadékvíz hasznosulás, illetve az evapotranszspirációs hányados (*Varga-Haszonits* 1998). Az adott területen előállított biomassa a sugárzáshasznosulásnál ismertetteknek megfelelően kalkulálható. Ezzel osztjuk el előbbi esetben az adott területre a vegetációs periódus folyamán leérkező csapadék mennyiségét, utóbbi esetben - a talaj és növény párologtatásának szétválasztási nehézségei miatt - a vegetációs periódus alatti evapotranszspirációt. A mértékegység általában kg/kg, azaz az eredmény dimenzió nélküli szám. Minél kisebb ezek értéke, annál hatékonyabban használják fel a növények a rendelkezésre álló vizet egységnyi biomassa előállításához.

Mikor az egyes meteorológiai tényezők produktivitásra gyakorolt hatását a korreláció- és regresszióanalízis eszközével vizsgáljuk, s vizsgálat tárgyává tesszük, hogy a tenyészidőszak egyes részeiben mely tényezők hatnak leginkább, a vegetációs periódus felosztásakor többféle lehetőség közül választhatunk. Amint azt az 1.3.4 alfejezetben már jeleztük, figyelembe vehetjük:

1. az egész vegetációs periódust (egységes egészként)
2. az egyes fenológiai fázisokat (pl.: vetés - kelés, kelés - címerhányás)
3. a különböző naptári időszakokat (pl.: hónapokat)
4. tetszés szerinti hosszúságú időszakokat igazodva a növény igényéhez (pl.: különböző hőmérsékletileg lehetséges periódusokat)

E dolgozat produktivitással foglalkozó eredményfejezetében mind a négy megközelítésre találhatók példák.

3. EREDMÉNYEK

3.1 A kukorica vegetációs periódusának meteorológiai viszonyai

A növények számára a meteorológiai tényezők közül a sugárzás, a hőmérséklet és a víz alapvető fontosságú. Az utóbbi kettő az élőlények általános feltétele, a sugárzás pedig a zöld növények számára az, így a meteorológiai viszonyok kukorica szempontjából történő elemzésekor a tényezők vizsgálata nélkülözhetetlen. Az 1951-90-es időszak adatait feldolgozó vizsgálataink eredményeit a Magyarország teljes területét reprezentáló 19 állomás esetén mutatjuk be.

E fejezet összeállításakor az e tárgyban végzett korábbi munkáink (*Varga Haszonits et al.* 1998a, 1999a, 2000a, 2000b, *Varga-Haszonits és Varga* 1999, *Varga* 1999) eredményeit is felhasználtuk.

3.1.1 Termikus elemek

A ***hőmérséklet*** alapvetően meghatározza, hogy egy adott területen egy növény termesztethető-e, s ha igen, az év mely időszakában. Mint az irodalmi áttekintésben említettük, a kukorica estén különböző szerzők különböző bázishőmérsékleteket fogadtak el hitelesnek, de figyelembe véve a hazai állomány mérsékelt égövi feltételekhez való fokozatos adaptációját, a 10 °C-os érték (*Bocz* 1992) inkább megbízhatónak tűnik Magyarországon, mint a magasabb, 12-14 °C-os értékek (*Láng* 1976). Ezért azt mondhatjuk, hogy a kukoricatermesztés feltétele egy - a kukorica tényleges vegetációs periódusát (a vetéstől érésig terjedő időszakot) meghaladó - 10 °C középhőmérséklet feletti időszak. A 3.1 táblázat hazánk 19 megfigyelőhelyére vonatkozó középhőmérsékleti adatokat tartalmaz havi bontásban. Jól látható, hogy az április közepe és október közepe közötti időszak biztosít kedvező, bázishőmérséklet fölötti értékeket fontos takarmánynövényünk számára. Ez a kb. 180 napos időszak kellően hosszú, hogy meghaladja akár a 125-130 napos tényleges vegetációs periódust, melyet *Láng* (1976) közöl, akár a 140-170 napos időintervallumot, melyet korábban számítottunk (*Varga* 1996) a hazai fajtaválaszték zömét kitevő korai (FAO 300) és középkorai (FAO 400) éréscsoportra.

3.1 táblázat. Havi középhőmérsékletek (Celsius fok; 1951-1990)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Év	Vp
--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----

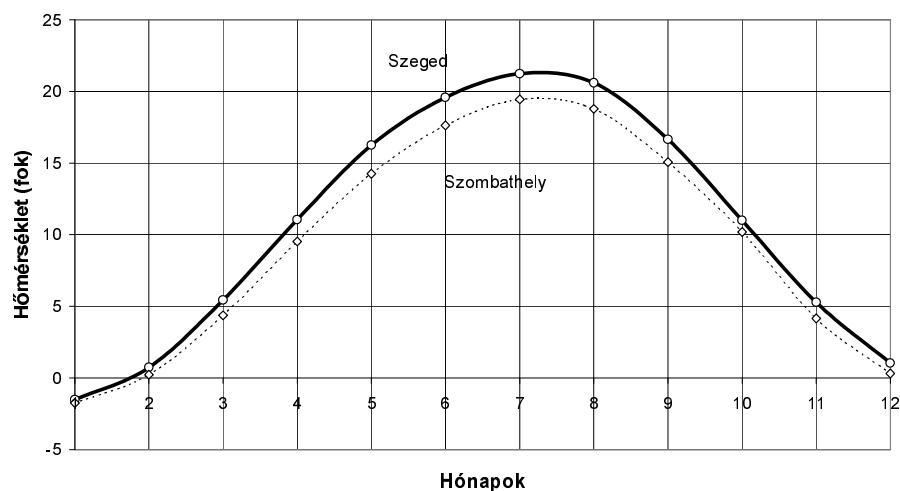
<i>Győr</i>	<i>-1.2</i>	0.8	5.2	10.5	15.4	18.7	20.4	19.7	15.8	10.4	5.0	1.1	10.1	15.8
Szombathely	<i>-1.8</i>	0.2	4.4	9.5	14.3	17.6	19.5	18.8	15.1	10.2	4.2	0.3	9.4	15.0
Zalaegerszeg	<i>-1.5</i>	0.6	4.8	9.9	14.6	17.9	19.6	18.9	15.1	9.9	4.6	0.6	9.6	15.1
Kaposvár	<i>-0.8</i>	1.2	5.6	10.7	15.5	18.9	20.5	19.8	16.1	10.8	5.4	1.4	10.4	16.1
Pápa	<i>-1.2</i>	0.8	5.1	10.2	15.1	18.4	20.1	19.5	15.7	10.5	4.9	1.0	10.0	15.6
Tatabánya	<i>-1.3</i>	0.9	5.4	10.7	15.7	18.9	20.4	19.9	16.0	10.7	5.1	0.9	10.3	16.0
Martonvásár	<i>-1.8</i>	0.3	4.9	10.5	15.6	19.0	20.7	20.1	16.1	10.5	4.5	0.5	10.1	16.1
Iregszemcse	<i>-1.3</i>	0.8	5.2	10.6	15.5	18.8	20.5	19.9	16.1	10.6	5.0	0.9	10.2	16.0
Pécs	<i>-1.1</i>	1.1	5.5	10.7	15.5	18.9	20.7	20.3	16.6	11.4	5.2	1.1	10.5	16.3
Kecskemét	<i>-1.7</i>	0.6	5.2	10.9	16.0	19.5	21.2	20.4	16.4	10.7	4.9	0.7	10.4	16.4
Budapest	<i>-1.5</i>	0.8	5.4	11.1	16.0	19.3	21.1	20.5	16.5	11.0	4.9	0.8	10.5	16.5
Szolnok	<i>-1.9</i>	0.4	5.3	11.0	16.1	19.5	21.3	20.5	16.5	10.7	4.9	0.7	10.4	16.5
Szeged	<i>-1.5</i>	0.7	5.4	11.1	16.3	19.6	21.2	20.6	16.7	11.0	5.3	1.0	10.6	16.6
Békéscsaba	<i>-1.8</i>	0.5	5.4	11.0	16.1	19.3	21.0	20.4	16.5	10.8	5.2	0.8	10.4	16.4
Debrecen	<i>-2.3</i>	0.0	5.0	10.7	15.9	19.1	20.8	20.0	16.0	10.4	4.7	0.3	10.1	16.1
Nyíregyháza	<i>-2.7</i>	-0.4	4.5	10.6	15.7	18.9	20.5	19.7	15.6	9.8	4.2	-0.1	9.7	15.8
Miskolc	<i>-3.0</i>	-0.6	4.3	10.3	15.3	18.6	20.2	19.4	15.3	9.5	3.9	-0.5	9.4	15.5
Kompolt	<i>-2.2</i>	0.1	4.8	10.7	15.7	19.0	20.9	20.2	16.2	10.4	4.5	0.2	10.0	16.2
Balassagyarmat	<i>-2.6</i>	-0.2	4.5	10.3	15.3	18.5	20.1	19.2	15.1	9.5	4.1	-0.1	9.5	15.4

Az adatok alapján felvetődik annak lehetősége, hogy valamelyest hosszabb tényleges vegetációs periódusú hibridekkel hasznosítsuk mezőgazdasági területeinket, hiszen a hosszabb vegetációs periódus hosszabb szervesanyag-felhalmozást jelent, azaz értelmes kockázatvállalással a hozamok növelhetők. Ehhez viszont a vetéssel jobban meg kell közelíteni a 10 °C tavaszi átlépési időpontját, ami az agrometeorológia tájékoztató-előrejelző szerepével kapcsolatban támaszt igényeket.

A 3.1 táblázat adatai alapján elmondható, hogy a kukorica vegetációs periódusaként elfogadott április–október időszakban a hőmérsékleti viszonyok az ország egész területén kedvező feltételeket biztosítanak a kukorica termesztéséhez. A nyári hónapokban, a növény hőmérséklet iránt legigényesebb időszakában a havi középhőmérsékletek – 40 éves átlagban – az ország nyugati részének kivételével végig 18 °C (az Alföldön 19 °C) fölöttiek, s Szombathelyen és Zalaegerszegen is csupán június hőmérséklete marad el valamelyest ezen értéktől. A legmagasabb értékeket júliusban találhatjuk, ennek magyarázatával a későbbiekben foglalkozunk. A hőmérsékletre kevésbé érzékeny érés időszakára is a kedvező, 15 °C körüli értékek a jellemzők. Hazánkban az egyes területek átlaghőmérsékleteit összevetve 10 % körüli ingadozásokat találtunk. A legmagasabb értéket Szegeden kaptuk, s ez észak illetve

nyugat felé haladva fokozatosan csökken. Évi átlagban a nyugati és északi rész hőmérsékleti értékei megegyeznek, a kukorica vegetációs periódusában azonban a nyugati országrész a hűvösebb.

A 3.1 ábra a két szélső értéket adó állomás, Szeged és Szombathely esetén mutatja be a hőmérséklet évi menetét. Minthogy a 10°C feletti hőmérséklet kijelöli az április–október időszakot, mint a kukorica lehetséges termesztési időintervallumát, a következő tényezők alakulását is kiemelten vizsgáljuk ezen időszakban.



3.1 ábra. A hőmérséklet évi menete (1951-90)

A *csillagászatilag lehetséges napfénytartam* (azaz a nappalhosszúság) a megvilágítás elvi maximumát jelenti, melyet a pontosan számszerűsített csillagászati tényezők a sztochasztikus jellegű meteorológiai tényezők befolyásolása nélkül hoznak létre. Napi értékei a mi szélességi köreinken hozzávetőleg 8 és 16 óra között változnak csekély észak–déli irányú változékonysággal (az északi területeken valamelyest nagyobb az ingadozás). A növények nappalhosszúságra adott válasza a fotoperiodizmus, s ez alapján megkülönböztetünk rövidnappalos, hosszúnappalos valamint a nappalhosszúságra közömbös növényeket. A szubtrópusi származású

kukorica eredeti termőhelyén rövidnappalos növénynek számít, de a hazánkban termesztett állomány alkalmazkodott hazánk nappalhosszúsági viszonyaihoz. Vetése áprilisban, a március 21–i napéjegyenlőséget követő hosszabbodó nappalok idején, azaz 12 óránál hosszabb megvilágítottságú időszakban történik, s a növény kezdeti fejlődése is növekvő nappalhossz mellett következik be. A június 22–i nyári napforduló csaknem 16 órás megvilágítását követően azonban megkezdődik a nappalhosszúság csökkenése. A növényfejlődés generatív szakasza általában már erre az időszakra tehető, s a kukorica betakarítása idején (szeptember–október tájékán) 12 óra körüli nappalhosszúságokkal lehet számolni.

A tényleges napfénytartam értékébe – a csillagászati meghatározottság mellett – meteorológiai tényezők is belejátszanak. Ezek hatását legszemléletesebben **a havi borult órák átlagos aránya** (3.2 táblázat) mutatja, mely a nappali időszakra vonatkozik. A csillagászatilag lehetséges és a tényleges napfénytartam különbsége és a csillagászatilag lehetséges napfénytartam hányadosaként számítható. A borultág mértékének alakulása jellegzetes évi menettel bír. A leginkább borult decembert követően egyre nő a napos órák aránya a leginkább derült augusztusig, onnan pedig ismét a borultság fokozódik. A szabályos évi menetet a júniusi viszonylag magasabb értékek torzítják egy kissé. Ez a júliusi–augusztusi értékeket meghaladó borultság módosítja a csillagászatilag lehetséges napfénytartamnál bemutatott szabályos képet, s eredményezi a többi termikus tényező (hőmérséklet, tényleges napfénytartam, tényleges sugárzási jellemzők) esetén a maximum júniusról júliusra való áttevődését. A borult órák alakulásának területi megoszlását illetően az alföldi (és dél–dunántúli) minimum (53 % éves szinten, 44 % az április–októberi időszakban), valamint éves átlagban az észak–magyarországi (Miskolc) maximum (59 %) emelhető ki, mely utóbbi a kukorica vegetációs periódusát figyelembe véve Nyugat–Magyarországra (Szombathely) tevődik át (52 %). A borultságot is, mint a többi termikus elemet csekély (10 % körüli) területi változékonyság jellemzi.

3.2 táblázat. Havi borult órák átlagos aránya (%; 1951-1990)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Év	Vp
Győr	79	72	60	53	48	46	40	39	45	51	74	82	54	46
Szombathely	76	70	63	56	52	51	47	45	52	57	74	80	58	52

Zalaegerszeg	75	68	62	54	50	48	42	41	47	56	73	80	56	48
Kaposvár	78	71	63	56	52	48	41	40	47	57	75	81	56	49
Pápa	76	69	63	53	49	48	43	41	49	55	73	80	56	48
Tatabánya	77	69	64	54	49	47	43	42	49	56	74	81	56	48
Martonvásár	78	70	62	53	49	47	41	40	47	54	76	81	55	47
Iregszemcse	79	71	63	54	50	47	41	41	47	57	76	82	56	48
Pécs	75	67	61	53	48	44	37	37	44	51	72	78	53	45
Kecskemét	77	68	60	52	47	44	38	37	43	49	72	80	53	44
Budapest	79	71	63	55	50	47	42	40	47	53	76	80	56	48
Szolnok	78	70	61	53	47	44	39	38	44	50	74	81	54	45
Szeged	77	69	61	54	48	44	38	36	42	49	71	80	53	44
Békéscsaba	77	71	61	55	48	45	39	37	44	51	73	81	54	46
Debrecen	79	72	60	53	48	47	40	39	45	51	75	82	54	46
Nyíregyháza	81	72	60	54	50	48	42	41	47	54	77	84	56	48
Miskolc	84	74	64	56	52	52	46	45	51	59	79	86	59	51
Kompolt	79	71	61	54	49	48	43	41	47	53	76	82	56	48
Balassagyarmat	79	71	63	55	52	49	45	44	49	56	77	83	58	50

Az előbb elemzett két tényező együttthatásaként alakul ki a *tényleges napfénytartam*, melyről a 3.3 táblázat ad tájékoztatást. A már említett okok miatt a kukorica áprilisi vetését követően fokozatosan javuló megvilágítottság mellett fejlődhet a növény egészen júliusig, onnantól pedig a tényleges napfénytartam értékei csökkenő tendenciát mutatnak (egészen decemberig). Szembetűnő, hogy a viszonylag borultabb június miatt nemcsak július, de augusztus is napfényben gazdagabb júniusnál. A csekély, 10 % körüli területi ingadozás, az alföldi (Kecskemét) maximum (2078 óra az évben és 1649 óra a kukorica vegetációs peridódusában), s az éves viszonylatban Észak–Magyarországon kialakult minimum (1792 óra), mely az április–október időszakra szűkítve Nyugat–Magyarországra tevődik át (1439 óra), mind összecsengenek az eddig ismertetett elemeknél leírtakkal.

3.3 táblázat. Havi napfénytartam óraösszegek (1951-1990)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Év	Vp
Győr	56	80	147	189	240	254	287	268	205	162	70	47	2005	1605
Szombathely	66	85	133	178	223	228	252	238	178	142	71	52	1846	1439
Zalaegerszeg	67	89	138	184	232	244	277	257	197	148	74	51	1958	1539
Kaposvár	60	83	135	178	220	240	277	260	197	145	70	51	1916	1517
Pápa	64	88	135	187	234	245	272	256	191	150	75	51	1948	1535
Tatabánya	62	86	132	187	238	248	273	255	192	147	71	50	1941	1540
Martonvásár	59	84	139	187	236	251	279	261	197	153	66	48	1960	1564

Iregszemcse	57	82	136	184	231	248	278	258	197	143	66	47	1927	1539
Pécs	69	93	143	187	238	262	295	275	208	164	78	59	2071	1629
Kecskemét	63	91	145	191	245	262	294	275	212	170	78	52	2078	1649
Budapest	56	83	136	182	230	248	277	261	200	156	65	47	1941	1554
Szolnok	60	86	143	189	244	264	291	269	209	165	73	49	2042	1631
Szeged	63	89	143	185	240	260	294	277	215	170	80	53	2069	1641
Békéscsaba	62	82	141	181	238	257	289	272	208	164	75	51	2020	1609
Debrecen	56	80	147	189	240	254	287	268	205	162	70	47	2005	1605
Nyíregyháza	51	79	144	186	234	246	277	258	197	152	64	42	1930	1550
Miskolc	43	72	132	176	225	227	259	243	185	137	57	36	1792	1452
Kompolt	58	81	140	184	234	246	272	256	199	157	66	47	1940	1548
Balassagyarmat	56	82	134	180	225	239	262	246	190	146	64	44	1868	1488

Adott területre érkező globálsugárzás értéke a területen maximálisan rendelkezésre álló energia mennyiségének kialakításában meghatározó, mely a különböző felszínek melegítésére, párologtatásra és növényi életfolyamatok serkentésére szolgálhat. (Ennek a felét véve a 380 és 710 nm közötti hullámhosszú, ún. fotoszintetikusán aktív sugárzást kapjuk meg, melyet a növények képesek hasznosítani.) A csillagászatilag lehetséges globálsugárzás a csillagászati tényezők hatására alakul ki, s adott területen egyes naptári napokhoz rendelt értékei évről-évre azonosak, a beérkező energia elvi maximumát jelentik. A tényleges globálsugárzás értékeiben viszont a meteorológiai viszonyok is megjelennek, így évek közötti változékonyság jellemzi. Előbbi a csillagászatilag lehetséges, utóbbi a tényleges napfénytartammal van szoros kapcsolatban. A **tényleges globálsugárzásra** vonatkozó adatokat a 3.4 táblázat tartalmazza. A tényleges napfénytartamnál elmondottak szinte pontról-pontra itt is igazak, ezért csak az attól való eltéréseket emeljük ki. A maximum (éves szinten 4645 MJ/m², a kukorica vegetációs periódusában 3731 MJ/m²) az Alföldről a Dél-Dunántúlra (Pécs) tevődött át, s bár az éves minimum (4219 MJ/m²) a fentihez hasonlóan Miskolcon van, de ez esetben a vegetációs periódusra jellemző minimum is Miskolcon található (3441 MJ/m²). A tényleges globálsugárzás évi menete nagyon hasonló a tényleges napfénytartam alakulásához, különbség egy vonatkozásban lelhető fel: az augusztusi tényleges globálsugárzás értékek – a viszonylag alacsonyabb beesési szögek miatt – elmaradnak a júniusiaktól, s körülbelül a májusiakkal vannak egy szinten. A Dunántúl sugárzásban leggazdagabb (Pécs) és legszegényebb (Szombathely)

állomásának megfelelő havi értékeit kapcsolatba hozva 0,999-es r-értéket kaptunk, ami jól jelzi a meteorológiai tényező szabályos alakulását.

3.4 táblázat. Tényleges globálisugárzás (MJ/m^2 ; 1951-1990)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Év	Vp
Győr	111	175	313	457	591	616	642	565	402	267	131	92	4362	3539
Szombathely	120	177	315	447	575	598	624	553	392	268	137	98	4300	3455
Zalaegerszeg	123	182	323	455	588	620	659	579	415	276	141	100	4459	3591
Kaposvár	122	180	322	451	574	617	660	584	418	277	141	102	4451	3582
Pápa	118	178	316	456	589	619	650	573	405	274	139	97	4414	3567
Tatabánya	116	175	311	455	592	623	651	571	405	270	135	95	4400	3567
Martonvásár	115	175	320	456	591	627	659	580	411	277	133	95	4439	3601
Iregszemcse	119	178	322	456	588	626	661	581	416	273	137	98	4453	3599
Pécs	130	191	334	464	600	646	686	605	434	297	149	109	4645	3731
Kecskemét	121	184	330	463	604	644	681	601	432	296	144	100	4599	3722
Budapest	114	174	317	450	583	624	656	580	415	279	132	94	4417	3586
Szolnok	117	178	326	460	602	646	675	592	427	290	139	97	4547	3690
Szeged	125	186	331	460	600	642	684	606	440	301	149	105	4628	3733
Békéscsaba	122	178	327	453	596	637	675	598	428	292	143	101	4550	3679
Debrecen	113	172	328	459	595	631	670	588	419	284	135	94	4486	3645
Nyíregyháza	107	167	321	452	585	618	654	573	408	271	128	88	4372	3561
Miskolc	102	161	308	440	573	593	630	554	393	258	122	84	4219	3441
Kompolt	113	171	319	451	587	620	649	573	412	278	131	93	4397	3570
Balassagyarmat	109	169	310	444	573	610	634	558	399	266	127	89	4287	3483

A termikus tényezőkre általában jellemző stabilitás (10 % körüli területi és évek közötti ingadozás) és viszonylagos szabályosság azt sugallják, hogy nem a termikus viszonyok felelnek a kukorica produktivásában megfigyelhető jelentős évek közötti változékonyságért.

3.1.2 Higrikus elemek

A meteorológiai tényezők másik nagy csoportját a nedvességi viszonyokat meghatározó elemek adják. E fejezetben foglalkozunk a vízháztartási egyenleg legfontosabb bevételi tagjával, a csapadékkal, a kiadást leginkább jellemző párolgással, s ennek lehetséges maximális értékével, a párologtatóképességgel. A csapadék és a párologtatóképesség hányadosát kiszámítva a nedvességi indexhez jutunk, mely – összehasonlítva a bevételt és lehetséges kiadást – relatív vízmérlegnek tekinthető.

Mindezen tényezők hatására alakulnak ki a talajnedvességi viszonyok, melyek közvetlenül hatnak a növény vízellátására. Végezetül a relatív légnedvességet elemezzük.

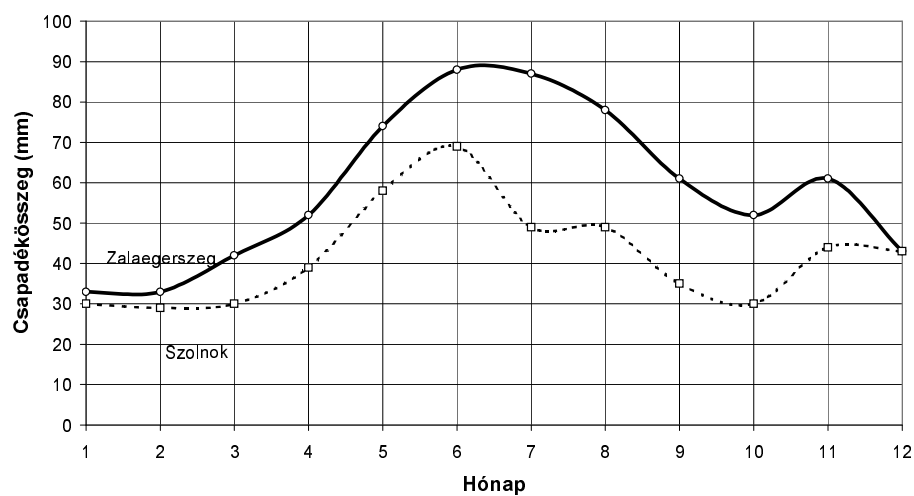
A **csapadék** alakulását a 3.5 táblázatban és a 3.2 ábrán követhetjük nyomon. E tényező változékonyságát már az is jelzi, hogy a téli minimum nem köthető egyetlen hónaphoz; január, február és március egyaránt alacsony havi összeggel rendelkezik. A kukorica vetésétől kezdve a növény egyre nagyobb csapadékban részesül a júniusi maximumig. Júliusi és augusztusi értéke sem sokkal marad el ettől, amíg azonban az áprilisi–júniusi csapadékot többnyire a tenger felől érkező légtömegek szállítják, július–augusztusban záporok, zivatarok a jellemzőek. Ennek köszönhető, hogy júniusban nagyobb a borult órák aránya (hiszen a nagy intenzitású záporok, zivatarok tartós borultság nélkül eredményeznek a júniustól alig elmaradó csapadékmennyiséget), s ezért tevődik át a termikus elemek maximuma júliusra. A kukorica számára az optimális 100 mm körüli havi összegtől (Menyhért 1979) elmaradt a július–augusztus havi csapadék, s a leérkezés formája is kedvezőtlen (kevésbé hasznosítható, mintha egyenletesen eloszlana). Kedvező viszont az érés idején tapasztalható mérsékeltebb mennyiség, az októberi másodminimum, mely a vízleadást és betakarítást is segíti. A mediterrán hatást tükröző novemberi másodmaximum már általában nem befolyásolja a növény termesztését. Összességében elmondható, hogy a csapadék (a víz) a kukoricatermesztés korlátozó tényezője.

3.5 táblázat. Havi csapadékösszegek (mm; 1951-1990)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Év	Vp
Győr	<u>30</u>	33	31	39	53	69	58	63	40	38	53	41	548	360
Szombathely	27	<u>25</u>	36	40	69	80	81	69	52	47	49	33	609	438
Zalaegerszeg	<u>33</u>	<u>33</u>	42	52	74	88	87	78	61	52	61	43	704	492
Kaposvár	43	<u>41</u>	44	56	70	95	75	73	55	48	68	52	719	472
Pápa	34	<u>29</u>	35	44	58	71	71	70	52	43	56	41	605	409
Tatabánya	41	35	<u>32</u>	43	61	76	65	59	49	41	61	49	611	394
Martonvásár	32	31	<u>28</u>	39	52	67	51	57	38	39	52	40	526	343
Iregszemcse	35	<u>35</u>	36	45	60	80	69	67	50	41	59	48	626	412
Pécs	37	<u>35</u>	36	56	63	84	65	62	46	40	57	46	628	416
Kecskemét	<u>30</u>	<u>30</u>	<u>30</u>	42	54	70	54	45	34	32	49	44	513	331
Budapest	32	<u>30</u>	<u>28</u>	37	54	65	57	49	37	36	52	40	516	335
Szolnok	30	<u>29</u>	30	39	58	69	49	49	35	30	44	43	505	329
Szeged	29	<u>27</u>	29	40	53	70	53	53	35	28	45	41	502	332

Békéscsaba	36	<u>34</u>	36	44	58	83	57	50	36	34	47	50	567	362
Debrecen	36	32	<u>31</u>	41	58	82	62	60	37	32	45	44	561	372
Nyíregyháza	30	<u>28</u>	<u>28</u>	37	51	77	65	59	39	33	43	40	531	361
Miskolc	<u>29</u>	30	30	41	65	87	67	68	41	35	45	38	575	404
Kompolt	35	<u>32</u>	<u>32</u>	38	58	80	54	63	37	36	50	41	554	366
Balassagyarmat	42	37	<u>36</u>	45	60	79	59	54	44	43	56	50	605	384

A minimum az Alföldre jellemző (az évi csapadék Szegeden a legkevesebb 502 mm-rel, míg a vegetációs periódusban Szolnokon 329 mm-rel), a legcsapadékosabb pedig az ország délnyugati része (Kaposvár: évi 719 mm, Zalaegerszeg: 492 mm a vegetációs periódusban). Ezek az adatok, a táblázatban fel nem tüntetett ± 50 -60 %-os évek közti változékonyság és a 3.2 ábra alakulása is jelzi e tényező termikus elemeket lényegesen meghaladó változatosságát, szeszélyességét, mely különösen a kukorica számára kritikus nyári hónapokban kifejezett.



3.2 ábra. A csapadék évi menete (1951-90)

3.6 táblázat. Havi párologtatóképesség (mm; 1951-1990)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Év	Vp
Győr	<u>5</u>	10	35	77	116	133	156	141	99	59	22	8	861	781
Szombathely	<u>4</u>	8	27	65	95	111	134	120	81	49	16	5	715	655
Zalaegerszeg	<u>5</u>	9	31	70	101	115	132	118	79	48	19	6	733	663
Kaposvár	<u>6</u>	12	36	75	107	123	141	128	87	54	24	8	800	715
Pápa	<u>5</u>	9	29	64	101	123	139	129	97	66	23	8	792	719
Tatabánya	<u>5</u>	9	35	78	115	130	151	137	96	60	22	7	844	767
Martonvásár	<u>4</u>	7	31	77	119	139	165	154	107	60	17	5	884	821
Iregszemcse	<u>5</u>	10	33	76	114	127	151	140	98	58	21	7	839	764
Pécs	<u>6</u>	12	39	81	120	139	167	159	118	75	25	9	950	859
Kecskemét	<u>5</u>	9	34	80	123	143	169	154	107	62	21	7	913	838
Budapest	<u>5</u>	9	39	89	129	149	178	166	117	67	21	6	975	895
Szolnok	<u>4</u>	8	34	79	116	134	162	149	106	61	19	6	877	807
Szeged	<u>5</u>	9	36	79	122	141	167	155	113	68	22	6	921	845
Békéscsaba	<u>4</u>	8	35	79	119	134	161	151	112	65	21	6	895	821
Debrecen	<u>4</u>	7	31	76	117	131	156	141	100	59	19	5	847	780
Nyíregyháza	<u>4</u>	7	30	79	119	131	153	135	94	52	16	4	826	763
Miskolc	<u>4</u>	6	28	75	110	124	145	130	89	48	14	4	777	721
Kompolt	<u>5</u>	7	34	83	122	139	171	159	112	64	19	5	920	850
Balassagyarmat	<u>4</u>	6	28	75	111	128	147	132	89	51	16	5	794	733

A *párologtatóképesség* (3.6 táblázat) a rendelkezésre álló energia függvénye, ezért a termikus tényezőkkel mutat nagymértékű hasonlóságot. Erre utal a januári minimum és a júliusi maximum is. A kukorica júliusig egyre nagyobb párologtatóképességű körülmények között növekszik, majd ez az érték fokozatosan csökken. Érthető okokból Nyugat-Magyarországon legkisebb a párologtatóképesség (Szombathely: évi párologtatóképesség 715 mm, a vegetációs periódus alatt 655 mm), míg a maximum – a szintén magas déli értékű állomásokat megelőzve – Budapesten adódott (évi 975 mm, illetve vegetációs periódusban 895 mm), jelezve, hogy a nagyvárosok speciális mezoklimája a szélsőségek irányába tolódik el. Eltérés a termikus tényezőtől a valamelyest nagyobb (30 % fölötti) területi változékonyság.

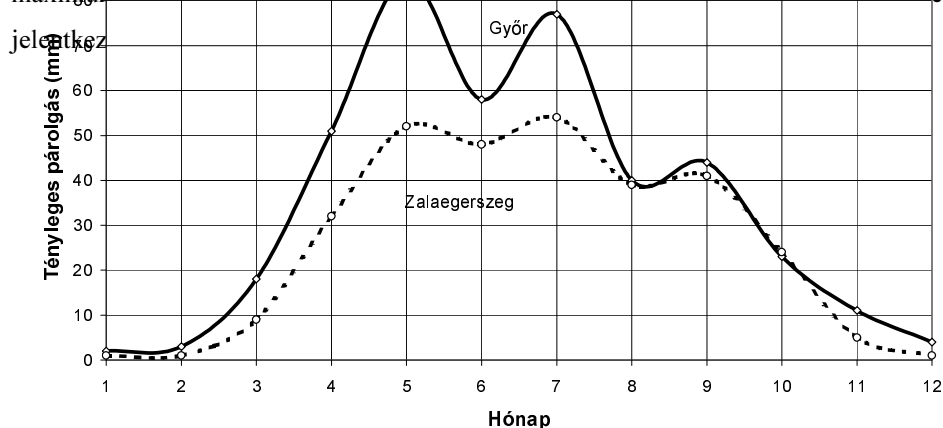
3.7 táblázat. Tényleges párolgás (mm; 1951-1990)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Év	Vp
Győr	2	3	18	51	85	58	77	40	44	23	11	4	412	378
Szombathely	1	2	8	35	55	49	65	51	45	28	8	2	348	328
Zalaegerszeg	1	1	9	32	52	48	54	39	41	24	5	1	306	290
Kaposvár	1	3	13	31	57	46	72	50	34	24	9	2	342	314

Pápa	2	3	11	34	62	59	51	39	44	30	10	3	349	319
Tatabánya	1	2	15	46	78	58	76	42	33	24	9	2	387	357
Martonvásár	1	2	15	49	83	54	72	37	33	18	5	2	370	346
Iregszemcse	1	3	15	44	78	58	82	42	34	26	9	3	392	364
Pécs	2	4	19	43	72	54	87	41	44	27	8	4	403	368
Kecskemét	1	2	17	49	71	34	75	36	25	17	5	2	335	307
Budapest	2	3	20	61	79	48	73	50	29	17	5	2	387	357
Szolnok	2	4	19	52	72	53	80	35	29	20	7	3	373	341
Szeged	2	5	21	51	77	47	68	40	36	20	6	3	376	339
Békéscsaba	2	3	16	48	84	49	87	51	30	20	7	3	397	369
Debrecen	1	2	14	44	72	30	76	41	40	18	7	2	346	321
Nyíregyháza	1	2	14	49	78	30	63	39	38	19	6	2	341	316
Miskolc	1	2	14	42	69	54	65	49	35	21	6	2	360	335
Kompolt	2	3	17	54	80	42	85	38	37	20	6	2	385	356
Balassagyarmat	1	1	10	39	75	54	78	40	34	17	5	2	355	337

A *tényleges párolgás* (3.7 táblázat, 3.3 ábra) a rendelkezésre álló energia és víz együttes hatását mutatja. A téli hónapok rossz energiaellátottságuk miatt alacsony értékekkel jellemezhetők. A kukorica kezdeti fejlődése idején az emelkedő energia és a még kellő nedvesség magas értékeket eredményez. A maximum májusban vagy júliusban adódik. Júniusban nem alakul ki sehol maximum, mivel májushoz képest nedvességben, júliushoz képest energiában marad el. Augusztustól kezdve már ismét alacsonyabb értékekkel számolhatunk a nedvesség és az energia elégtelen volta miatt. A területi eloszlás – a két tényező együttes hatása miatt - talán itt a legkevésbé kifejezett.

A minimum az energiával rosszul ellátott Zalaegerszezen (306 mm illetve 290 mm), a maximum az energiával jól ellátott Győrben (506 mm illetve 490 mm).



3.3 ábra. A tényleges párolgás évi menete (1951-90)

A **nedvességi index** (3.8 táblázat) mint a csapadék és párologtatóképesség hányadosa az adott időszak nedves vagy száraz jellegét fejezi ki (Varga-Haszonits 1987). Az 1 feletti érték azt jelenti, hogy több csapadék hullott, mint amennyi el tudott volna párologni, így nedves jelleget tükröz. Az 1 alatti érték pedig ezen megfontolásból száraznak minősül. A kritikus 1-es érték a száraz és nedves időszak határát jelöli. Látható, hogy az év legnedvesebb időszaka a tél. Ekkor ugyan csapadékminimum van, de a párologtatóképesség még ennek is csak töredéke, így a nedvesedés jellemzi az év ezen szakát. Márciusban is meghaladja a csapadék a párologtatóképesség értékét, de március végén, április elején a viszonyok szárazra fordulnak. Ettől kezdődően (tehát a kukorica vegetációs periódusában) a lehullott csapadék rendre elmarad a párologtatóképességtől. A minimum július–szeptember idején adódik. Ilyenkor a csapadék Zalaegerszegen 70 %-a, az Alföldön és Budapesten csak 30 %-a a párologtatóképességnek. Ezt követően emelkednek az értékek, de a szeptember még mindenütt száraz, s az október is csak 3 nyugati–délnyugati állomáson nedves, tehát gyakorlatilag a kukorica teljes vegetációs periódusa száraz körülmények között telik. A legnedvesebb Zalaegerszeg (éves átlagban csaknem nedves: 0.97, a vegetációs periódus alatt a csapadék a párologtatóképesség 83 %-a), míg a legszárazabbnak – megelőzve az alföldi állomásokat – Budapest bizonyult (0.54 az éves, 0.43 a vegetációs periódus alatti érték). Zalaegerszeg értékei csaknem kétszeresei a budapestieknek, s ez ismét a nedvességi viszonyok nagymértékű változékonyságát húzza alá, valamint a nagyvárosok környezetében kialakuló mezoklíma szélsőséges, szárazságra hajló jellegét.

3.8 táblázat. Havi nedvességi indexek (1951-1990)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Év	Vp
Győr	6.53	5.42	1.51	0.54	0.50	0.54	0.39	0.48	0.42	0.70	3.08	6.80	0.64	0.51
Szombathely	7.20	5.14	2.76	0.69	0.80	0.74	0.66	0.62	0.66	1.09	4.11	7.28	0.87	0.75
Zalaegerszeg	7.78	5.59	2.40	0.81	0.79	0.80	0.72	0.70	0.79	1.20	4.26	8.65	0.97	0.83
Kaposvár	10.78	7.26	2.16	0.80	0.73	0.81	0.57	0.63	0.66	1.01	4.17	9.35	0.93	0.74
Pápa	8.55	5.74	1.88	0.75	0.64	0.62	0.57	0.58	0.57	0.93	3.23	6.96	0.78	0.67
Tatabánya	9.35	5.89	1.57	0.60	0.57	0.61	0.47	0.49	0.55	0.84	3.85	9.35	0.74	0.59
Martonvásár	8.92	6.46	1.54	0.54	0.47	0.51	0.33	0.41	0.40	0.82	4.63	11.05	0.61	0.50

Iregszemcse	8.04	5.92	2.07	0.62	0.57	0.67	0.50	0.54	0.55	0.84	3.74	9.05	0.76	0.61
Pécs	8.63	5.36	1.66	0.73	0.57	0.63	0.42	0.43	0.42	0.62	3.04	9.00	0.67	0.54
Kecskemét	7.20	5.36	1.50	0.56	0.49	0.52	0.34	0.32	0.36	0.63	3.09	9.47	0.57	0.46
Budapest	7.69	4.93	1.27	0.44	0.45	0.45	0.34	0.32	0.35	0.64	3.34	8.39	0.54	0.43
Szolnok	8.59	5.23	1.45	0.54	0.54	0.55	0.32	0.37	0.37	0.61	3.04	11.31	0.59	0.47
Szeged	7.87	4.94	1.62	0.57	0.48	0.54	0.34	0.38	0.33	0.51	2.49	9.39	0.56	0.45
Békéscsaba	10.19	6.99	1.84	0.61	0.54	0.67	0.38	0.37	0.36	0.61	3.02	13.06	0.64	0.50
Debrecen	10.34	6.14	1.67	0.59	0.56	0.67	0.45	0.46	0.40	0.61	3.61	11.06	0.68	0.53
Nyíregyháza	8.16	5.41	2.00	0.51	0.47	0.63	0.47	0.47	0.45	0.69	3.69	10.91	0.66	0.53
Miskolc	8.19	6.01	2.22	0.58	0.64	0.75	0.49	0.57	0.50	0.80	3.92	11.64	0.76	0.62
Kompolt	7.82	5.42	1.52	0.50	0.53	0.63	0.33	0.43	0.36	0.72	3.80	10.29	0.62	0.50
Balassagyarmat	10.97	7.38	2.24	0.64	0.58	0.65	0.42	0.44	0.55	0.90	4.89	12.33	0.77	0.60

A növényekre fontos hatással van a csapadék, a párologtatóképesség és párolgás, valamint az ezek egymáshoz való viszonyát jelző nedvességi index, de mivel a vizet a talajból veszik fel gyökereik segítségével, közvetlenül a talajnedvesség alakulása hat a növények vízállapotára.

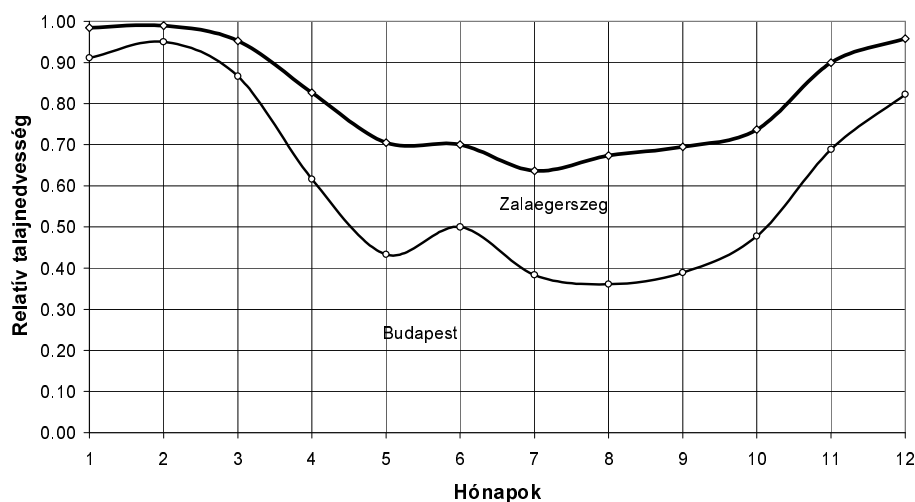
Ez természetesen az előbb említett tényezők hatására alakul ki (például a nedves időszakban nő a **talajnedvesség**, míg ha a vízfelvétel elmarad a kiadástól, csökken a talaj vízkészlete), ezért fontos volt azokat is áttekinteni. A 3.9 táblázat és 3.4 ábra relatív talajnedvességi értékeket tartalmaz, tehát a szántóföldi vízkapacitáshoz viszonyítva adja meg a rendelkezésre álló vízmennyiséget. A 100-hoz közeli érték kedvező, vízzel kellőképpen feltöltött állapotot jelöl, míg az ettől való egyre nagyobb eltérések egyre inkább vízhiányos állapotokat sejtetnek. Az értékek csupasz talajra vonatkoznak.

3.9 táblázat. Talajnedvesség (a szántóföldi vízkapacitás %-ában, csupasz talaj)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Év	Vp
Győr	92	95	90	74	53	53	42	51	48	54	72	85	67	53
Szombathely	95	97	95	82	70	69	60	60	61	67	83	91	77	67
Zalaegerszeg	98	99	95	83	71	70	64	67	69	74	90	96	81	71
Kaposvár	97	98	93	83	68	71	57	56	61	65	83	93	77	66
Pápa	96	97	93	81	65	61	60	64	62	64	81	90	76	65
Tatabánya	96	98	91	76	56	58	46	48	53	59	78	90	71	57
Martonvásár	93	95	89	73	49	51	38	44	45	54	73	85	66	50
Iregszemcse	96	97	92	79	59	61	49	53	56	60	77	89	72	60
Pécs	92	95	90	78	58	60	42	48	47	52	71	84	67	55
Kecskemét	96	98	88	66	41	52	36	36	41	50	73	88	64	46
Budapest	91	95	87	62	43	50	38	36	39	48	69	82	62	45
Szolnok	89	93	88	70	54	54	37	42	44	49	65	80	63	50

Szeged	88	92	86	68	48	52	39	44	42	46	64	79	62	49
Békéscsaba	91	95	90	76	55	60	42	41	43	50	66	83	66	52
Debrecen	93	97	90	73	51	63	43	47	44	52	70	86	67	53
Nyíregyháza	91	94	89	69	46	61	48	52	50	54	70	83	67	54
Miskolc	91	94	91	76	61	63	52	54	54	58	73	84	71	60
Kompolt	91	95	89	70	49	58	38	47	44	51	70	83	65	51
Balassagyarmat	97	98	94	80	59	61	46	49	51	60	78	91	72	58

Az év végén, a nedves időszak kezdetétől a talaj erőteljes feltöltődése indul meg, ami azt eredményezi, hogy a tél végére, februárra csaknem szántóföldi vízkapacitásig feltöltődik a talaj. A kukorica vegetációs periódusának kezdetén azonban



már a párologtatóképesség értéke meghaladja a csapadékból származó bevételt, ami a talajnedvességet csökkenti.

3.4 ábra. A relatív talajnedvesség évi menete (1951-90)

Áprilisban a relatív talajnedvesség 62–83 %-os értékei közel vannak a növény számára optimális 70-80 %-hoz, így megfelelő talajhőmérséklet mellett a növény gyors kezdeti fejlődése biztosított. Az ezt követő fokozatos csökkenés – melyet a júniusi csapadékmaximum lassít – július–augusztusban eredményez minimumot nagy területi változékonysággal: Zalaegerszegen az optimális értéktől alig elmaradó 64 %-kal, míg Kecskeméten, Budapesten a már erőteljesen vízhiányos 36 %-kal. Szeptember–

októberben már magasabb értékek találhatók, de az optimumnál lényegesen alacsonyabbak. A vegetációs periódus egészét tekintve azt mondhatjuk, hogy a nyugati országrészben az optimumhoz közeli értékek a jellemzőek (ezt Zalaegerszeg egész évre jellemző 81 %-os és a vegetációs periódus 71 %-os értéke fejezi ki a legszemléletesebben), de az Alföldön, valamint Budapesten tapasztalt értékek az öntözés szükségességét hangsúlyozzák. A minimum értéke ismét Budapesten adódott (évi átlag: 62 %; vegetációs periódus átlaga: 45 %). E higrikus tényező változékonysága is rendkívül magas, a Zalaegerszegrre jellemző vegetációs periódusbeli érték kb. 60 %-kal haladja meg a budapestit.

A *relatív légnedvesség* is a nedvességi viszonyokat jellemzi. Hatással van a párologtatásra: alacsony légnedvesség esetén megnövekszik a párologtatás. Az alacsony légnedvesség termékenyülési problémákat is okozhat. A 40 évi adatok alapján számolt havi átlagokat a 3.10 táblázat tartalmazza.

3.10 táblázat. A relatív nedvesség havi középértékei (% , 1951-1990)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Év	Vp
Győr	83	80	73	67	68	69	67	70	74	77	83	84	75	70
Szombathely	86	82	77	71	72	73	72	74	78	81	85	86	78	74
Zalaegerszeg	84	80	74	69	71	73	72	75	79	81	84	86	77	74
Kaposvár	84	81	75	70	71	72	71	74	78	81	83	86	77	74
Pápa	84	81	75	70	71	71	69	72	76	79	84	86	77	73
Tatabánya	84	81	74	68	69	70	69	71	75	78	84	86	76	71
Martonvásár	87	84	75	67	67	68	65	67	71	77	86	88	75	69
Irgszemce	84	81	75	68	69	71	69	71	74	79	84	86	76	72
Pécs	82	78	71	66	67	67	65	66	69	73	82	83	73	68
Kecskemét	85	82	74	68	67	67	65	68	72	77	84	86	74	69
Budapest	84	80	71	63	65	65	63	65	69	75	83	86	72	66
Szolnok	87	83	75	69	70	70	67	69	72	77	85	88	76	71
Szeged	86	83	74	69	68	68	66	68	71	75	84	87	75	69
Békéscsaba	87	83	74	68	69	70	67	69	71	76	85	89	76	70
Debrecen	86	83	75	69	69	70	68	71	74	77	84	88	76	71
Nyíregyháza	86	82	74	67	68	70	68	71	75	79	85	88	76	71
Miskolc	87	83	74	68	70	71	70	72	76	80	86	88	77	72
Kompolt	83	80	71	65	67	68	64	66	70	75	84	86	73	68
Balassagyarmat	85	82	75	68	69	70	69	72	75	79	85	87	76	72

Évi menetét tekintve a relatív talajnedvességgel mutat párhuzamot azzal az eltéréssel, hogy kisebb (10 % körüli) ingadozások jellemzik. A téli időszak maximuma (80-90 %) után az április-július időszak alacsonyabb (70 % alatti) értékei következnek,

melyben a júniusi csapadékmaximum egy kevésbé kifejezett másodmaximumot okoz, s augusztustól folyamatos emelkedés figyelhető meg. Nem túl kedvező a virágzás idején jelentkező alacsonyabb légnedvességű időszak, de az értékek nem szélsőségesek. A nyugati országrészben tapasztalt maximum (évi 78 %, a vegetációs periódusban 74 %) és a budapesti minimum (72 illetve 66 %) eltérése 10 % körüli, mint ahogy erre már utaltunk.

Összegezve elmondhatjuk, hogy a nedvességi viszonyok a termikusakhoz képest nagyobb változékonyságukkal tűnnek ki, így nagyobb szerepet játszanak a kukorica terméshingadozásaiban, s helyenként a kukoricatermesztés korlátozó tényezőjét jelenthetik.

3.2 A METEOROLÓGIAI TÉNYEZŐK HATÁSA A KUKORICA NÖVEKEDÉSÉRE

A meteorológiai tényezők és a növényi növekedést kifejező legfontosabb paraméterek (magasság-, levélfelület- és szárazanyag változás) közötti kapcsolat elemzését egy hároméves szántóföldi kísérlet adatai alapján végeztük el. A kísérlet körülményeit az “Anyag és módszer” fejezetben ismertettük. Mivel vizsgálatainkat az 1997-99-es időszakban végeztük, a 3.11 táblázatban feltüntettük a vizsgálati évek meteorológiai viszonyait. Látható, hogy a vegetációs periódus egészét tekintve az 1981-90-es időszak átlagának megfelelő értékek jellemezték a 3 évet. Az 1997-es év az átlagosnál valamelyest csapadékosabb és napfényben gazdagabb volt, az 1998-as pedig kifejezetten csapadékos volt, ennek ellenére a 400-as FAO-számú hibrid talajnedvessége átlag alatti volt. A többi érték az átlagostól nem tért el számottevően. Tehát a vizsgálati időszakban nem fordultak elő szélsőséges meteorológiai hatások.

3.11 táblázat. A vizsgálati évek (1997-99) néhány meteorológiai jellemzője havonként

1997	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	vegper.	1981-90	%**
csapadék	78	89	151	5	29	24	375	314	120
relatív nedv.	68.6	73.6	76.9	72.5	75.8	77.5	74.1	74.3	100
napfénytartam	249	252	209	303	269	164	1446	1338	108
átlaghőmérs.	16.3	19.0	19.1	20.5	16.0	8.0	16.5	16.4	101

talajnedv.* 400	69.9	79.4	74.8	54.7	39.4	33.2	59.4	60.9	98
1998	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	vegper.	1981-90	%**
csapadék	33	50	173	57	122	89	524	314	167
relatív nedv.	65.1	67.8	70.4	69.9	83.2	85.7	73.7	74.3	99
napfénytartam	270	253	245	298	130	114	1310	1338	98
átlaghőmérs.	16.0	20.4	20.9	20.7	14.9	10.7	17.2	16.4	105
talajnedv.* 300	67.2	53.8	47.0	66.7	65.0		60.4	60.9	99
talajnedv.* 400	65.2	51.7	45.5	60.2	54.7		55.5	60.9	91
1999	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	vegper.	1981-90	%**
csapadék	47	98	68	51	28	27	320	314	102
relatív nedv.	70.9	72.7	71.7	74.7	80.7	77.9	74.8	74.3	101
napfénytartam	261	238	260	230	198	140	1327	1338	99
átlaghőmérs.	16.1	18.2	21.3	19.4	17.9	10.5	17.2	16.4	105
talajnedv.* 300	77.0	63.6	65.1	56.8	54.1	49.6	61.3	60.9	101
talajnedv.* 400	77.8	68.8	65.4	53.6	48.2	51.4	61.9	60.9	102

*felső 100 cm-es réteg esetén **az adott év értéke az 1981-90-es időszak 5-ában

Havonként megvizsgálva az értékeket különösen a csapadék esetén jelentkezik szembetűnően, hogy egy vegetációs periódusra jellemző összeget viszonylag jelentős havi ingadozások alakíthatnak ki (például 1997-ben a júliusi csapadék csaknem háromszorosa, az augusztusi kevesebb mint tizede volt az átlagosnak, a vegetációs periódust jellemző összeg viszont csupán 20 %-os eltérést mutatott a sokéves átlagtól), s ez arra utal, hogy a vegetációs periódust egyben jellemző értékek mellett az időbeli alakulás vizsgálata is fontos lehet.

A 3.13-3.15 táblázatokban alkalmazott, az összefüggések szignifikanciáját kifejező jelölések magyarázata a 2.1 táblázat alatt látható az Anyag és módszer fejezetben.

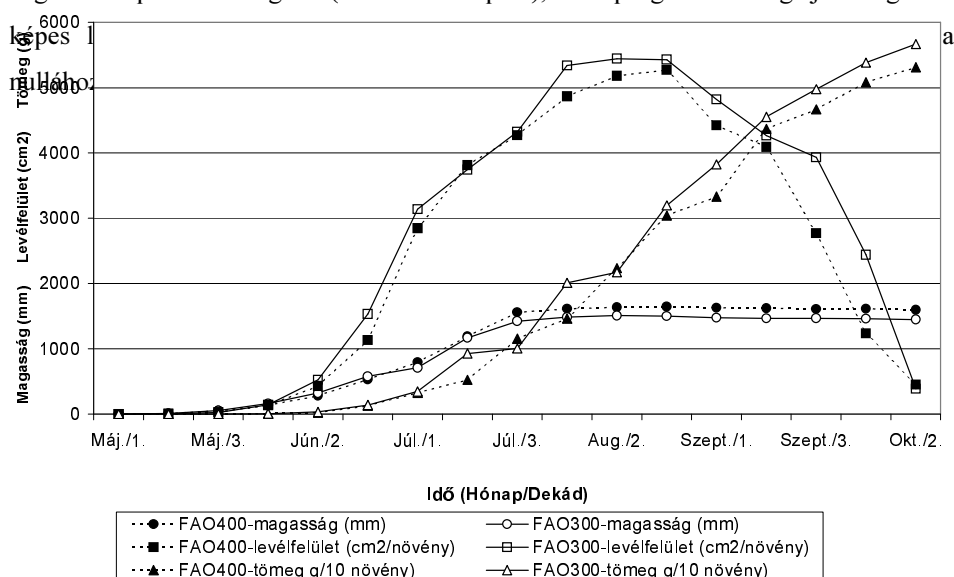
3.2.1 A növekedés időbeli változásai

A kísérletbe bevont két hibrid növekedési paramétereinek időbeli alakulását a 3.5-3.12 ábrák szemléltetik a vizsgált évek átlagos értékei alapján. A 3.5 ábra a (tényleges) idő függvényében mutatja be a 300-as illetve 400-as FAO számú hibrid növekedésének alakulását.

Jól látható, hogy - kisebb ingadozásokkal - a növénymagasság és a szárazanyag gyarapodása szigmoid görbével írható le: az első dekádok mérsékelt növekedését a középső időszak erőteljesebb növekedése követi, melynek mértéke a vegetációs

periódus végén a nullához tart. A különbség, hogy a magasság esetében a növekedés intenzív szakasza előbb kezdődik és rövidebb ideig tart: a tenyészidőszak második felében a növénymagasság gyakorlatilag állandó. A levélfelület nagysága ellenben már a középső dekádokban eléri maximumát, ami a 70000 tő/ha-os állománysűrűséget figyelembe véve mindkét érécsoport esetén 4 körüli LAI (levélfelület index)-értéknek felel meg. Ezt követően csökken; az utolsó dekádban szinte teljesen elszáradnak a levelek.

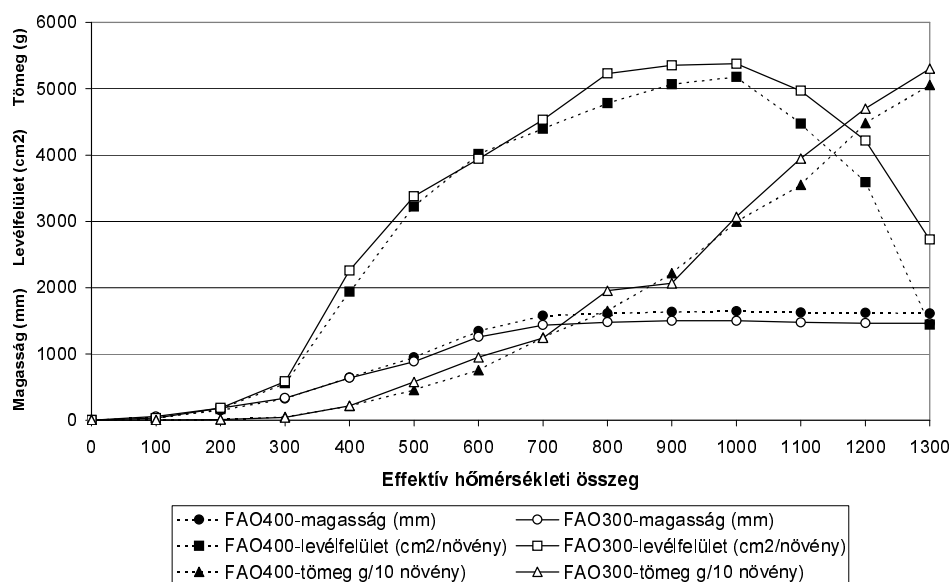
Jól szemlélteti az ábra az egyes folyamatok sorrendiségét is: először a levélfelület intenzív növekedése indul meg, ennek maximuma június második felére tehető. Valamivel utána tapasztalható a magasság legerősebb növekedése, mely már feltételezi számottevő fotoszintetizáló levélfelület meglétét. Július végére, augusztus első felére a levélfelület növekedési üteme olyannyira lelassul, hogy a levélfelület gyakorlatilag állandónak tekinthető - az új levelek képződése és a régebbiek elszáradása egyensúlyba kerül -, majd fokozódó mértékben csökken a levélfelület. A maximális levélfelület kialakulásának idejére tehető a végleges magasság elérése is. A szárazanyag növekedése a másik két folyamatnál lassabban kezdődik meg, a levélfelület legintenzívebb növekedése idején válik számottevővé, s a leggyorsabb szárazanyag-gyapodás a maximális levélfelület kialakulásának idejére tehető. Amint a levélfelület csökken, a szárazanyag növekedése még tart, de egyre kisebb intenzitással. A vegetációs periódus végére (október közepére), a napsugárzás energiáját megkötni



3.5 ábra. A két kukoricaibrid növekedési jellemzői az idő függvényében (1997/99)

3.2.2 A termikus idő és a növekedés

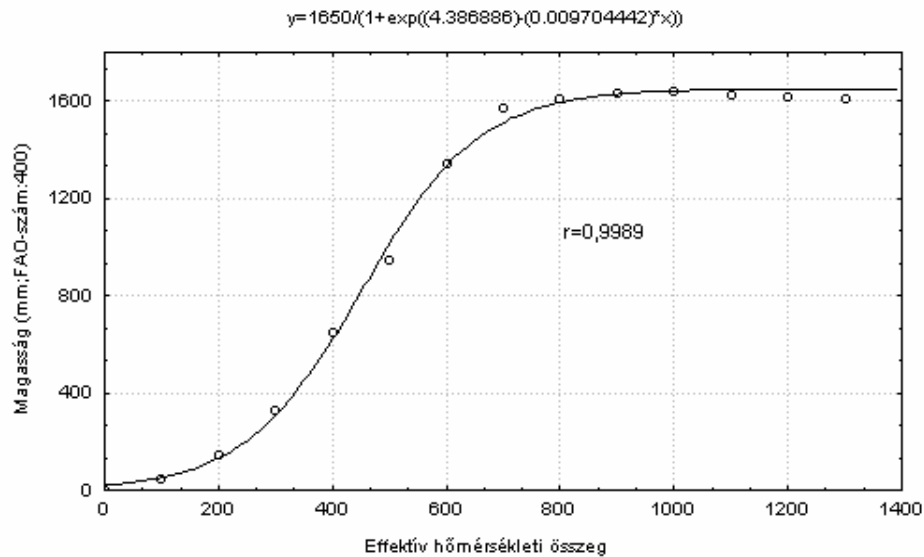
A 3.6 ábrán ugyanezeket a folyamatokat a termikus idő függvényében mutatjuk be. A hőmérsékleti összegek közül az effektív hőmérsékleti összeget választottuk, azaz az ábra azt szemlélteti, hogy a hőmérsékletek bázishőmérséklet (kukorica esetén 10 °C) fölötti, egyre kumulálódó része hogyan befolyásolja a már említett növekedési jellemzőket. Összehasonlítva az előző ábrával azt láthatjuk, hogy a termikus idő használata jobban "elsimítja" a kiugró értékeket, a görbék alakulása (különösen a levélfelület esetén) szabályosabbá válik.



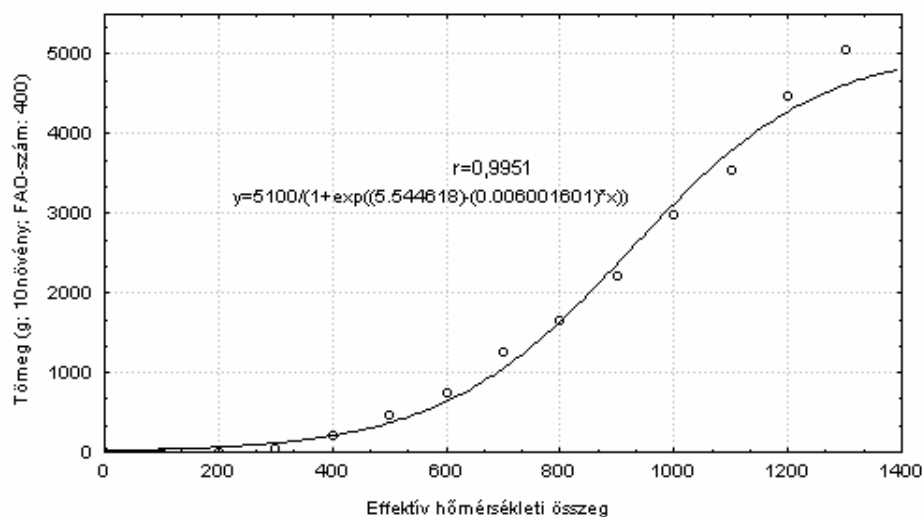
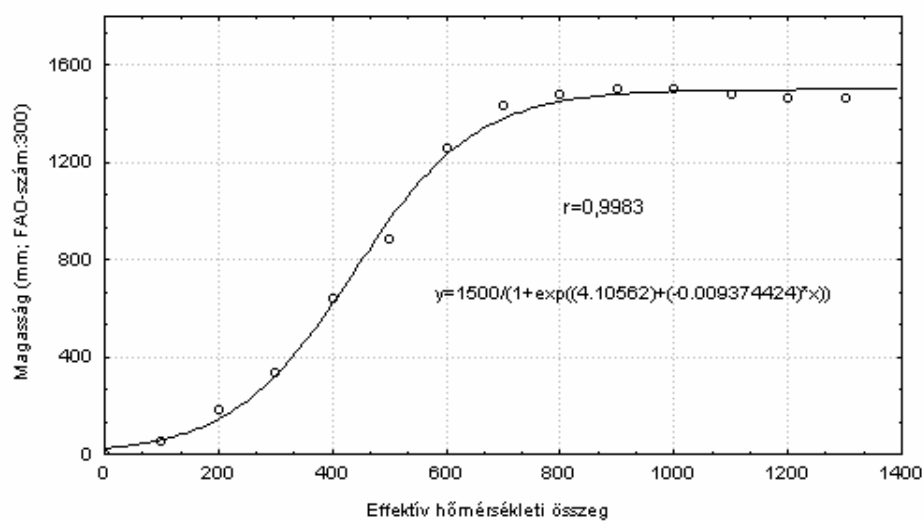
3.6 ábra. A két kukoricaibrid növekedési jellemzői a termikus idő függvényében (1997/99)

A levélfelület gyarapodásának legintenzívebb szakasza az effektív hőmérsékleti összeg 300-500 foknapos értékeihez kötődik, míg a maximális fotoszintetizáló felület

1000 foknapnál alakul ki hibridtől függetlenül. A magasság a 300-700 foknapos tartományban változik a leginkább, s a 800-900 foknapot meghaladó hőmérsékleti összegek mellett már tulajdonképpen nem változik. A tömeggyarapodás intenzív szakasza az 500-1100 foknapos értékekhez köthető, s a maximum a maximális levélfelület (900-1100 foknap) meglétekor észlelhető. Az 1200 foknapot meghaladó effektív hőmérsékleti összegeknél már lényegesen lassul a beépülés üteme.



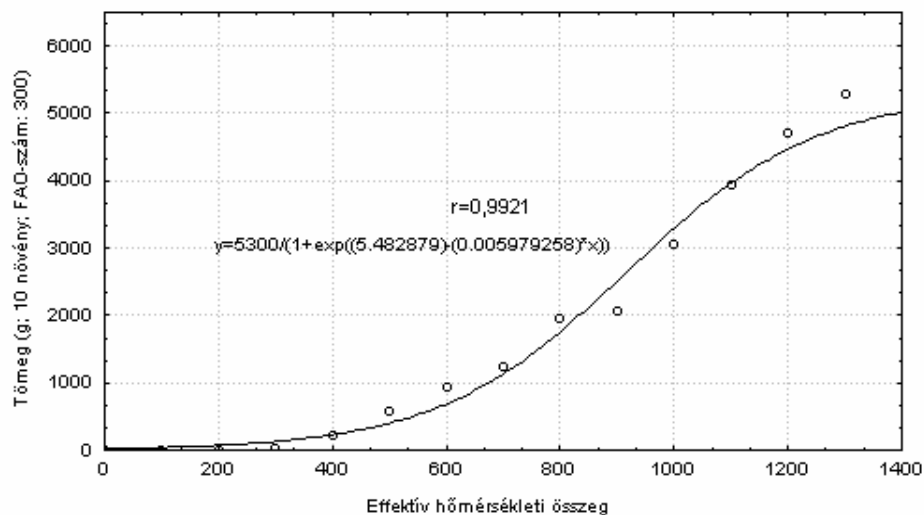
3.7 ábra. A termikus idő hatása a növénymagasságra (400-as érésidejű hibrid)

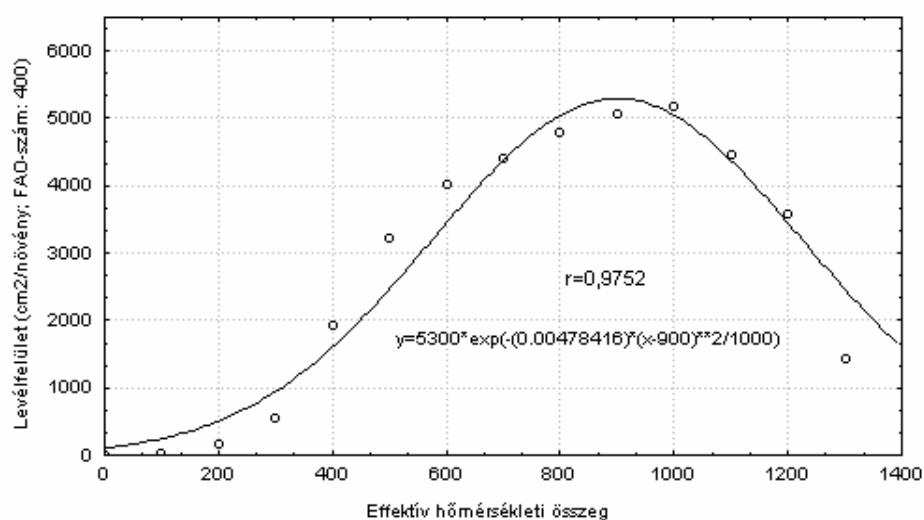


3.8 ábra. A termikus idő hatása a növénymagasságra (300-as érésidejű hibrid)

3.9 ábra. A termikus idő hatása a növény tömegére (400-as érésidejű hibrid)

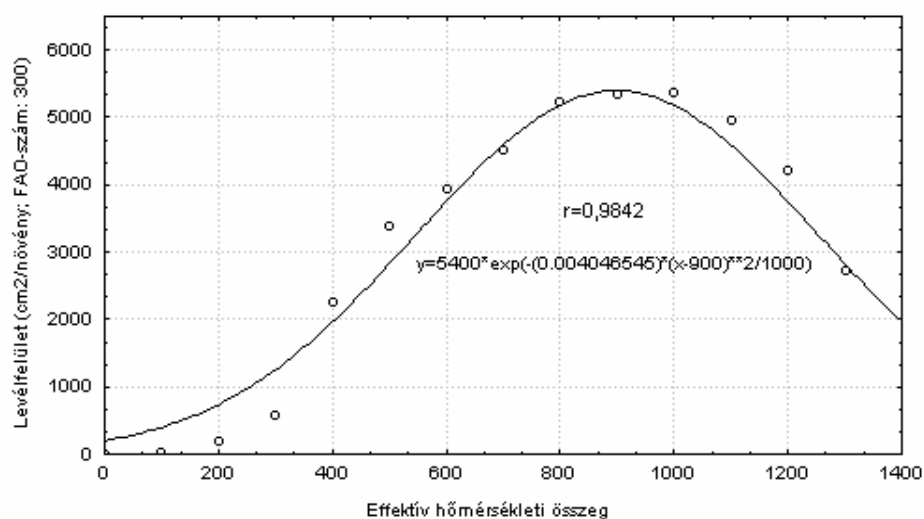
A Statistica 4.5 számítógépes program segítségével görbét illesztettünk a mért adatok alapján kapott és a 3.6 ábrán megjelenített 6 pontsorozatra. Az eredményt a 3.7-3.12 ábrák mutatják.





3.10 ábra. A termikus idő hatása a növény tömegére (300-as érésidejű hibrid)

3.11 ábra. A termikus idő hatása a levélfelületre (400-as érésidejű hibrid)



3.12 ábra. A termikus idő hatása a levélfelületre (300-as érésidejű hibrid)

Így az 1997/99-es időszak adatai alapján számszerű, függvényszerűen kifejezhető összefüggéseket állapítottunk meg az effektív hőmérsékleti összeg és a két

hibrid növekedését jellemző paraméterek között. Mivel a kísérletet a következő évben is folytattuk, lehetőségünk nyílt, hogy a 2000. év adatai alapján verifikáljuk a növekedési modelleket, azaz megvizsgáljuk, hogy milyen hibával alkalmazhatók a következő években.

3.12 táblázat. A két éréscsoport növekedési paramétereire vonatkozó modellek verifikálása a 2000. év eredményei alapján

FAO 400	Magasság (mm)			Levélfelület (cm ² /növény)			Tömeg g/10 növény)		
Foknap	mért	modell	eltérés%	mért	modell	eltérés%	mért	modell	eltérés%
100	25	52	-107	9	248	-2636	0	36	-8426
200	134	131	2	230	508	-121	7	65	-805
300	351	307	13	919	947	-3	70	118	-68
400	535	620	-16	2307	1603	31	232	211	9
500	721	1013	-40	3946	2465	38	469	371	21
600	1139	1332	-17	4652	3446	26	697	639	8
700	1427	1513	-6	5614	4377	22	1168	1055	10
800	1499	1595	-6	5236	5052	4	1651	1644	0
900	1611	1629	-1	5491	5300	3	3739	2368	37
1000	1620	1642	-1	5489	5052	8	3720	3123	16
1100	1635	1647	-1	5355	4377	18	4263	3785	11
1200	1655	1649	0	5234	3446	34	4686	4283	9
1300	1630	1650	-1	4465	2465	45	4965	4617	7
FAO 300	Magasság (mm)			Levélfelület (cm ² /növény)			Tömeg g/10 növény)		
Foknap	mért	modell	eltérés%	mért	modell	eltérés%	mért	modell	eltérés%
100	25	61	-144	9	405	-4524	1	40	-6167
200	129	146	-13	200	743	-271	6	72	-1126
300	325	323	1	755	1258	-67	60	129	-116
400	496	618	-25	1616	1964	-22	159	230	-45
500	673	962	-43	3571	2826	21	399	405	-1
600	1074	1231	-15	4215	3752	11	672	692	-3
700	1296	1382	-7	5544	4593	17	1158	1137	2
800	1468	1451	1	5086	5186	-2	1389	1759	-27
900	1544	1481	4	4532	5400	-19	2866	2516	12
1000	1562	1492	4	4821	5186	-8	3868	3295	15
1100	1566	1497	4	5011	4593	8	4499	3971	12
1200	1555	1499	4	4566	3752	18	4282	4476	-5

1300	1550	1500	3	3909	2826	28	5105	4813	6
------	------	------	---	------	------	----	------	------	---

E vizsgálat eredményeit a 3.12 táblázat tartalmazza. Mindkét hibrid minden növekedési paramétere esetén 3 oszlop található: az első a tényleges érték, a második a 2000. évre az 1997/99-es eredmények - a 3.7-3.12 ábrákon feltüntetett függvények - alapján számított, a harmadik pedig a modellből számított és a tényleges érték eltérése a tényleges érték %-ában kifejezve. Látható, hogy mindkét hibrid esetén a kizárólag a hőmérséklet hatását figyelembe vevő modell a magasság alakulásának előrejelzésekor adja a legjobb eredményeket. Az esetek kb. felénél az eltérés 5 % alatti, kétharmadánál 10 % alatt marad, s ritkán fordulnak elő 20 %-osnál nagyobb eltérések.

A száraz tömeg gyarapodását már több pontatlansággal követi a modell; az esetek nem egészen felénél marad 10 % alatt a hiba, s majdnem kétharmadánál 20 % alatti az eltérés. A levélfelület alakulása még kevésbé pontosan ragadható meg csakis hőmérsékleti információk alapján. Kb. negyedrészen fordulnak elő 10 %-nál, s felerészen 20 %-nál pontosabb becslések. E modellekre általában igaz - de kifejezettebben a levélfelület és a tömeg esetén észlelhető -, hogy a vegetációs periódus kezdetén becsülik túl a növekedést.

3.2.3 A meteorológiai elemek és a növekedés

Egyváltozós összefüggésvizsgálat: A továbbiakban a léghőmérséklet mellett a többi meteorológiai tényezőt is bevontuk vizsgálatainkba. A 3.13 táblázat a meteorológiai tényezők dekádértékei és a kukorica dekádonkénti magasság-, levélfelület- illetve szárazanyag-változásait kifejező értékek közötti kapcsolat korrelációs együtthatóit (r -értékeit) tartalmazza. E táblázat az 1997-99-es (a 300-as FAO-számú hibrid esetén az 1998-99-es) időszak adatainak figyelembevételével készült. Az összefüggéseket az egyes évekre külön is megvizsgáltuk, az ezekből készült táblázatokat helytakarékoság miatt itt nem közöljük, de eredményeikre hivatkozunk.

A termikus tényezők közül a napfénytartam növekedésre gyakorolt hatása általában gyenge, köszönhetően annak, hogy ezen meteorológiai elem a legkevésbé változékonny. Ugyanakkor kiemelhető, hogy a levélfelület változására gyakorolt hatás egyértelműen meghaladja a másik két paraméterre gyakorolt hatást, s a napfénytartam és a levélfelület változása közötti kapcsolat a napfénytartammal jól ellátott 1997-es évben alacsonyabb, az átlagosnál legkevésbé napfényes 1998-ban pedig akár 1 %-os szinten szignifikáns összefüggést jelző r -értékeket adott, azaz az elem korlátozott hozzáférhetősége növeli jelentőségét.

3.13 táblázat. Meteorológiai tényezők és a növény növekedése közötti kapcsolat

	FAO400- 1997-99						FAO300- 1998-99					
	lineáris			másodfokú			lineáris			másodfokú		
	mag.	levf.	tömeg	mag.	levf.	tömeg	mag.	levf.	tömeg	mag.	levf.	tömeg
csapadék	0.1609	0.3387	0.0985	0.2665	0.3453	0.0985	0.0742	0.2332	0.0316	0.2012	0.2392	0.0656
minhőm	0.3486	0.4171	0.3211	0.3918	0.4176	0.3303	0.3428	0.4453	0.2241	0.3490	0.4545	0.2427
átlhőm	0.3159	0.3812	0.2672	0.3205	0.3843	0.2680	0.2883	0.4802	0.0748	0.3274	0.5596	0.2324
maxhőm	0.2472	0.2955	0.2909	0.2640	0.2992	0.2950	0.1947	0.4130	0.1187	0.3036	0.4688	0.2728
napfart	0.0812	0.2064	0.0200	0.1327	0.2107	0.1175	0.1483	0.4053	0.2114	0.1908	0.4170	0.3237
rel.légnedv.	0.1962	0.4087	0.1715	0.2429	0.4260	0.2315	0.2343	0.5118	0.2010	0.3038	0.5246	0.3897
talhőm-2cm	0.3375	0.4349	0.2604	0.3375	0.4470	0.2629	0.3211	0.5524	0.0447	0.3696	0.6412	0.2098
talhőm-5cm	0.3327	0.4285	0.2775	0.3330	0.4399	0.2777	0.3240	0.5420	0.0648	0.3661	0.6242	0.2049
talhőm-10cm	0.3195	0.4113	0.2938	0.3200	0.4220	0.2938	0.3176	0.5367	0.0990	0.3486	0.6063	0.2159
talhőm-20cm	0.3106	0.3833	0.3192	0.3106	0.3917	0.3200	0.3161	0.5071	0.1606	0.3490	0.5570	0.2512
talhőm-50cm	0.2500	0.2864	0.3142	0.2550	0.2905	0.3187	0.3176	0.4587	0.1170	0.3564	0.4870	0.1913
talhőm-100cm	0.0141	0.0860	0.5219	0.1822	0.0889	0.5310	0.0245	0.0000	0.4939	0.1977	0.0316	0.5082
taln.-10cm	0.2711	0.0964	0.0714	0.3158	0.2140	0.2035	0.0346	0.2037	0.0387	0.1741	0.0787	0.0917
taln.-20cm	0.2427	0.0592	0.0566	0.2848	0.2200	0.1830	0.0265	0.2464	0.0000	0.0412	0.0458	0.1559
taln.-30cm	0.3962	0.2865	0.0954	0.4376	0.3576	0.2417	0.0200	0.1034	0.2571	0.0529	0.0447	0.1487
taln.-40cm	0.3248	0.3758	0.0387	0.2855	0.4301	0.1849	0.1145	0.0510	0.2931	0.2042	0.2154	0.2220
taln.-50cm	0.4522	0.4725	0.1800	0.3655	0.4879	0.2737	0.2377	0.1140	0.5162	0.1356	0.1237	0.2944
taln.-60cm	0.5779	0.4784	0.3504	0.5212	0.4937	0.3651	0.3504	0.2966	0.4088	0.2520	0.2383	0.2179
taln.-70cm	0.5745	0.4763	0.2387	0.5552	0.4888	0.3192	0.3300	0.2728	0.2480	0.2938	0.2223	0.1685
taln.-80cm	0.5395	0.4593	0.1836	0.4862	0.4763	0.2879	0.3056	0.2731	0.2615	0.1772	0.2071	0.1640
taln.-90cm	0.5434	0.4613	0.1738	0.5049	0.4808	0.3329	0.3367	0.1221	0.3779	0.2739	0.1273	0.1658
taln.-100cm	0.5380	0.4410	0.1068	0.4990	0.4615	0.2879	0.1581	0.1237	0.1483	0.1082	0.1292	0.0933
taln.-1-20cm	0.2644	0.0800	0.0656	0.3022	0.2173	0.1857	0.0316	0.2377	0.0173	0.0671	0.0616	0.1118
taln.-21-40cm	0.3708	0.3428	0.0686	0.3833	0.4069	0.2177	0.0510	0.0283	0.2919	0.1421	0.1212	0.1997
taln.-41-60cm	0.5325	0.4918	0.2760	0.4626	0.5041	0.3197	0.3132	0.2161	0.4964	0.1860	0.1752	0.2661
taln.-61-80cm	0.5708	0.4806	0.2170	0.5480	0.4896	0.3059	0.3335	0.2857	0.2666	0.2352	0.2182	0.1855
taln.-81-100cm	0.5514	0.4615	0.1442	0.5266	0.4774	0.3137	0.2812	0.1345	0.3038	0.2010	0.1338	0.1446
taln.-1-30cm	0.3187	0.1500	0.0173	0.3489	0.2631	0.1830	0.0173	0.2045	0.0663	0.0412	0.0458	0.0964
taln.-31-60cm	0.4743	0.4700	0.1962	0.4186	0.4899	0.2764	0.1619	0.1637	0.4486	0.1010	0.1539	0.2565
taln.-61-100cm	0.5728	0.4825	0.1897	0.5604	0.4899	0.3064	0.3203	0.2309	0.2884	0.2423	0.1780	0.1772
taln.-1-50cm	0.3647	0.2694	0.0300	0.3724	0.3483	0.1863	0.0100	0.1082	0.2049	0.0640	0.0000	0.1265
taln.-51-100cm	0.5866	0.4936	0.2347	0.5728	0.4999	0.3156	0.3501	0.2642	0.3407	0.2759	0.1900	0.1670
taln.-1-100cm	0.4924	0.3957	0.1277	0.4770	0.4330	0.2514	0.1594	0.0447	0.2825	0.0831	0.1058	0.1513

Egyváltozós összefüggésvizsgálat dekádadatak alapján (r-értékek)

A hőmérsékleti viszonyok jellemzésére többféle értéket is mértünk. A léghőmérsékletre vonatkozó minimum-, átlag- és maximum hőmérsékletről az mondható el, hogy ezekben az átlaghoz közeli hőmérsékletűnek mondható években általában a minimum hőmérséklettel volt tapasztalható a legjobb, a maximum hőmérséklettel pedig a legrosszabb összefüggés hibridetől függetlenül. Ezt az indokolja, hogy a kukorica melegigényes növény, így elsősorban az alacsony hőmérsékletek

hatnak korlátozóan rá, azaz ebben a tartományban egységnyi változás fokozottan befolyásolja a növekedést. Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy szemben a másik két növekedési jellemzővel a levélfelület esetén az átlaghőmérséklet figyelembevételével kapott értékek sokszor meghaladták a minimum hőmérséklet-levélfelület összefüggés mértékét. Ennek oka lehet, hogy az átlagos hőmérséklet a minimum hőmérsékletnél szorosabban összefügg az adott terület átlagos sugárzási viszonyaival, melyek fontosak a fotoszintetizáló felület fejlődése szempontjából.

A különböző mélységben mért talajhőmérsékletek felhasználásával kapott értékekből az látható, hogy a talajhőmérséklet-magasságváltozás és a talajhőmérséklet-levélfelület változás kapcsolatok esetén az r -érték nagysága a mélységgel arányosan csökken, azaz minél lejjebb haladunk, annál kevésbé hat az adott réteg hőmérséklete a magasság és a levélfelület alakulására. Tudjuk azt is, hogy minél inkább eltávolodunk a felszíntől (lefelé), annál inkább eltér a hőmérséklet alakulása a léghőmérséklettől. Tehát a talajhőmérséklet hatása elmarad a léghőmérsékletétől. Az, hogy a 2 cm-es mélységben mért talajhőmérséklet értéke mégis meghaladja a léghőmérséklet (átlaghőmérséklet) esetén mért r -értéket, annak tulajdonítható, hogy a 2 cm-es talajhőmérséklet szorosabban követi a növényállomány körüli léghőmérsékletet, mint a 2 m magasan mért léghőmérséklet.

A talajhőmérséklet-szárazanyag változás kapcsolat esetén azonban a mélységgel haladva egyre nagyobb r -értékeket kapunk, azaz a száraz tömegre az átlagos talajhőmérséklet hatása meghaladja az átlagos léghőmérsékletét. Ennek oka lehet, hogy a talajhőmérséklet hat közvetlenül a vízben oldott tápanyagok felvételéért felelős gyökérrendszer kialakulására és működésére. A tápanyagfelvétel pedig alapvetően meghatározza a szárazanyag gyarapodását.

A higrikus tényezők közül a relatív légnedvesség, a csapadék és különböző mélységű rétegek talajnedvessége került elemzésre.

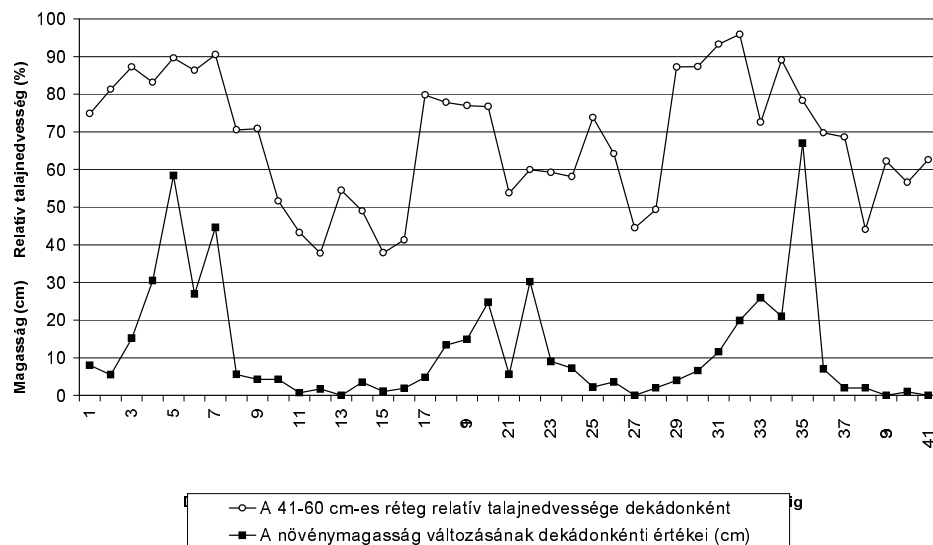
A relatív légnedvesség a levélfelület növekedésére erősen (egyes esetekben 1 vagy 2 %-os szinten is szignifikánsnak bizonyuló r -értékkel) hat, a másik 2 jellemzőre gyakorolt hatása viszont általában nem szignifikáns. A csapadék esetén is a levélfelülettel való összefüggés a legkifejezettebb. E meteorológiai elem mindhárom növekedési jellemzőre gyakorolt hatása a csapadékban legkevésbé bővelkedő 1999-es

évben adta a leginkább szignifikáns eredményeket. Tehát itt is megfigyelhető, hogy ha egy elem relatív kisebb mennyiségben áll rendelkezésre, viszonylag erősebb hatással lesz a növekedésre.

A relatív talajnedvesség és a növényi növekedés kapcsolatáról összefoglalva azt mondhatjuk, hogy az 51-70 cm-es talajréteg nedvessége befolyásolja leginkább mind a 3 vizsgált növekedési jellemzőt. Ez a kukorica gyökérzetének jellegzetességeivel magyarázható. Egyes években nem feltétlenül jellemző, de általában elmondható, hogy a talajnedvesség jó összefüggést mutat a magasság és a levélfelület alakulásával, míg a száraz tömegével csak lazábbat. Ez különösen a 400-as érésidejű hibridnél volt megfigyelhető. Megpróbáltuk az egyes dekádokra jellemző relatív talajnedvességi értékek helyett az adott dekádra jellemző relatív talajnedvesség változásának értékét használni, de az így kapott összefüggések - mindkét hibridnél, minden évben és mindhárom növekedési jellemzővel kapcsolatban - gyenge szignifikanciát mutatott. Ezért, s a terjedelmi szempontokat is figyelembe véve, ezen eredményeket nem tüntettük fel a táblázatban.

Összefoglalva azt mondhatjuk, hogy *a növekedési jellemzők közül a magasság alakulását leginkább a minimum hőmérséklet, a 2 cm-es talajhőmérséklet (azaz a felszinközeli léghőmérséklet) és az 51-70 cm-es talajréteg nedvessége befolyásolja, a levélfelület alakulását ugyanezek a tényezők, de a relatív légnedvesség és (nem túl csapadékdús évben) a csapadék is szerepet játszanak*, míg a meteorológiai tényezőkkel lazább kapcsolatot mutató szárazanyag gyarapodás esetén a mélyebb talajrétegek hőmérséklete és nedvessége mellett még a minimum hőmérséklet befolyásolhat. Ezen összefüggéseket a hibrid érésideje nem módosította alapvetően.

Az egyváltozós kapcsolat vizsgálatának lezárásaként a 3.13 ábra szemléltetni kívánja a 400-as FAO-számú hibrid esetén a 0,1 %-os szinten szignifikánsnak bizonyuló relatív talajnedvesség (41-60 cm) és a növénymagasság változása közötti kapcsolat szorosságát a két változó 3 vegetációs perióduson keresztüli tényleges alakulásának feltüntetésével. Látható, hogy a magasság változása milyen szorosan követi a kukorica gyökérzetének környezetében található talajnedvesség alakulását.



3.13 ábra. A relatív talajnedvesség és a növénymagasság változásának alakulása (1997-99, FAO 400-as hibrid)

Többváltozós összefüggésvizsgálatok: A következő lépésben különböző higrikus elem - termikus elem kombinációk mellett a meteorológiai tényezők és a növény növekedését jellemző paraméterek kétváltozós összefüggés-vizsgálatát végeztük el. Az eredmények a 3.14 táblázatban láthatók. E táblázat az 1997-99-es (a 300-as FAO-számú hibrid esetén az 1998-99-es) időszak adatainak figyelembevételével készült. Az összefüggéseket az egyes évekre külön is megvizsgáltuk, az ezekből készült táblázatokat helytakarékoság okából itt nem közöljük, de eredményeikre hivatkozunk.

3.14 táblázat. Meteorológiai tényezők és a növény növekedése közötti kapcsolat. Kétváltozós összefüggésvizsgálat dekádadatok alapján (r -értékek)

		FAO400- 1997-99						FAO300- 1998-99					
		lineáris			másodfokú			lineáris			másodfokú		
		mag.	levf.	tömeg	mag.	levf.	tömeg	mag.	levf.	tömeg	mag.	levf.	tömeg
csapadék	<i>min. hőm.</i>	0.357	0.495	0.371	0.506	0.519	0.386	0.343	0.468	0.225	0.512	0.510	0.258
	<i>átl. hőm.</i>	0.342	0.519	0.295	0.488	0.571	0.299	0.297	0.532	0.080	0.481	0.692	0.257
	<i>max. hőm.</i>	0.290	0.471	0.311	0.408	0.528	0.320	0.209	0.477	0.123	0.417	0.596	0.291
	<i>napftart.</i>	0.205	0.471	0.099	0.386	0.559	0.145	0.183	0.518	0.212	0.419	0.675	0.340
	<i>talhőm. 2</i>	0.359	0.550	0.291	0.475	0.610	0.296	0.328	0.595	0.054	0.496	0.745	0.228
	<i>talhőm. 10</i>	0.343	0.534	0.323	0.461	0.585	0.327	0.325	0.582	0.103	0.477	0.704	0.232
relatív nedv.	<i>talhőm. 50</i>	0.274	0.418	0.355	0.365	0.444	0.360	0.318	0.481	0.117	0.414	0.517	0.192
	<i>min. hőm.</i>	0.368	0.517	0.410	0.417	0.527	0.457	0.368	0.593	0.363	0.399	0.624	0.453
	<i>átl. hőm.</i>	0.322	0.450	0.421	0.352	0.462	0.458	0.301	0.561	0.308	0.354	0.609	0.462
	<i>max. hőm.</i>	0.265	0.421	0.447	0.320	0.433	0.469	0.251	0.542	0.326	0.342	0.572	0.458
	<i>napftart.</i>	0.222	0.437	0.288	0.271	0.463	0.331	0.240	0.512	0.220	0.309	0.525	0.433
	<i>talhőm. 2</i>	0.340	0.481	0.425	0.364	0.491	0.449	0.326	0.598	0.287	0.384	0.667	0.443
talajnedv. 21-40 cm	<i>talhőm. 10</i>	0.326	0.474	0.440	0.349	0.483	0.466	0.326	0.597	0.320	0.367	0.648	0.446
	<i>talhőm. 50</i>	0.288	0.457	0.401	0.327	0.466	0.417	0.350	0.604	0.273	0.413	0.657	0.397
	<i>min. hőm.</i>	0.465	0.568	0.397	0.571	0.633	0.494	0.295	0.629	0.354	0.356	0.672	0.362
	<i>átl. hőm.</i>	0.418	0.497	0.356	0.493	0.556	0.467	0.203	0.557	0.315	0.299	0.697	0.407
	<i>max. hőm.</i>	0.394	0.448	0.355	0.487	0.509	0.468	0.118	0.494	0.319	0.312	0.596	0.413
	<i>napftart.</i>	0.397	0.343	0.102	0.459	0.393	0.392	0.075	0.314	0.300	0.196	0.369	0.353
talajnedv. 41-60 cm	<i>talhőm. 2</i>	0.414	0.533	0.338	0.495	0.578	0.457	0.223	0.618	0.305	0.334	0.762	0.374
	<i>talhőm. 10</i>	0.414	0.527	0.384	0.493	0.582	0.484	0.216	0.606	0.322	0.307	0.728	0.360
	<i>talhőm. 50</i>	0.410	0.503	0.438	0.515	0.573	0.503	0.220	0.510	0.316	0.300	0.592	0.331
	<i>min. hőm.</i>	0.592	0.676	0.502	0.648	0.687	0.503	0.448	0.676	0.547	0.501	0.721	0.635
	<i>átl. hőm.</i>	0.558	0.612	0.472	0.577	0.620	0.477	0.362	0.589	0.521	0.430	0.721	0.667
	<i>max. hőm.</i>	0.545	0.577	0.459	0.569	0.586	0.464	0.330	0.537	0.521	0.469	0.640	0.663
talajnedv. 61-80 cm	<i>napftart.</i>	0.558	0.492	0.304	0.565	0.497	0.311	0.339	0.293	0.500	0.369	0.316	0.673
	<i>talhőm. 2</i>	0.548	0.630	0.477	0.566	0.639	0.487	0.369	0.641	0.518	0.448	0.780	0.657
	<i>talhőm. 10</i>	0.553	0.635	0.498	0.571	0.644	0.500	0.370	0.634	0.530	0.446	0.758	0.644
	<i>talhőm. 50</i>	0.559	0.629	0.505	0.585	0.641	0.512	0.387	0.553	0.531	0.495	0.661	0.626
	<i>min. hőm.</i>	0.597	0.605	0.512	0.668	0.606	0.518	0.434	0.672	0.385	0.444	0.734	0.586
	<i>átl. hőm.</i>	0.579	0.564	0.463	0.637	0.565	0.474	0.368	0.597	0.313	0.402	0.740	0.610
talajnedv. 51-100 cm	<i>max. hőm.</i>	0.574	0.538	0.445	0.632	0.540	0.455	0.346	0.559	0.309	0.462	0.682	0.613
	<i>napftart.</i>	0.597	0.481	0.244	0.627	0.489	0.250	0.352	0.336	0.280	0.362	0.418	0.558
	<i>talhőm. 2</i>	0.575	0.585	0.459	0.632	0.588	0.472	0.376	0.651	0.301	0.424	0.792	0.591
	<i>talhőm. 10</i>	0.578	0.588	0.486	0.636	0.591	0.499	0.379	0.647	0.322	0.425	0.776	0.591
	<i>talhőm. 50</i>	0.582	0.575	0.497	0.653	0.577	0.521	0.390	0.566	0.336	0.442	0.658	0.587
	<i>min. hőm.</i>	0.609	0.618	0.523	0.700	0.621	0.535	0.450	0.667	0.441	0.459	0.712	0.592
talajnedv. 51-100 cm	<i>átl. hőm.</i>	0.594	0.576	0.476	0.668	0.581	0.499	0.384	0.593	0.383	0.416	0.725	0.605
	<i>max. hőm.</i>	0.589	0.550	0.457	0.656	0.553	0.477	0.362	0.551	0.378	0.480	0.657	0.613
	<i>napftart.</i>	0.619	0.494	0.265	0.652	0.498	0.277	0.374	0.320	0.343	0.385	0.341	0.610
	<i>talhőm. 2</i>	0.590	0.597	0.474	0.660	0.602	0.504	0.390	0.644	0.374	0.436	0.783	0.590
	<i>talhőm. 10</i>	0.593	0.601	0.498	0.665	0.606	0.521	0.392	0.638	0.394	0.439	0.764	0.590
	<i>talhőm. 50</i>	0.598	0.592	0.505	0.684	0.601	0.542	0.401	0.553	0.409	0.469	0.635	0.594

Az egyváltozós összefüggésvizsgálat eredményei alapján kiválasztottuk a viszonylag jobb eredményt adó termikus illetve higrikus tényezőket, s ezeket párosítva vizsgáltuk a növekedési jellemzőkre gyakorolt együttes hatásukat.

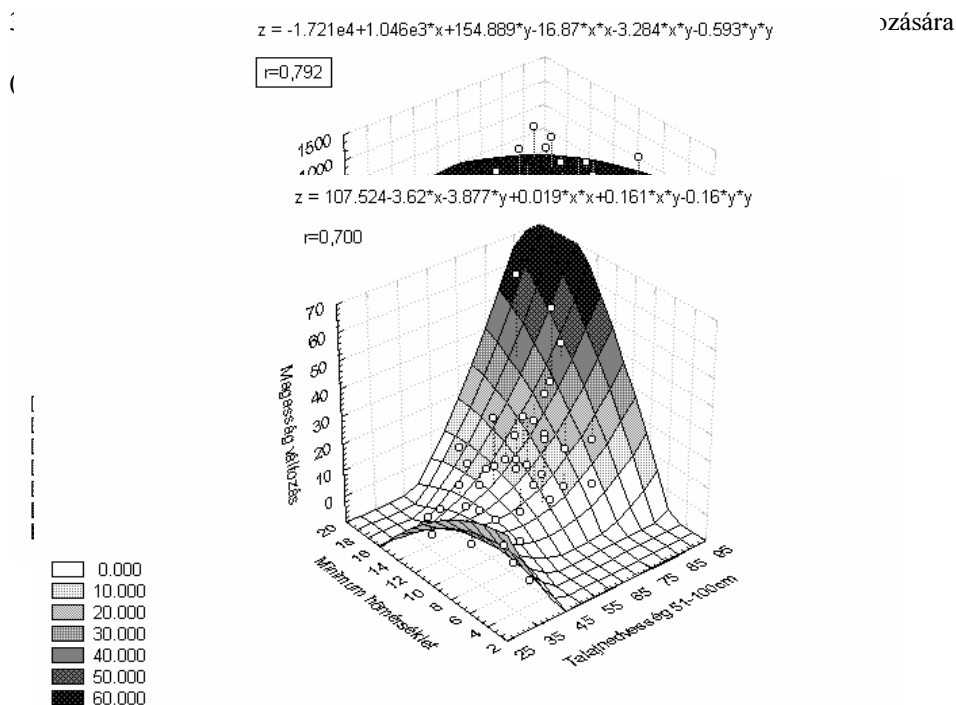
A legmagasabb r-értékeket általában akkor kaptuk, amikor a higrikus elemek közül valamelyik mélyebb talajréteg nedvességét használtuk. Túl nagy különbségek nem adódtak attól függően, hogy ez a réteg a 41-60, a 61-80 vagy 51-100 cm-es volt-e. A 21-40 cm-es, viszonylag sekélyebb réteg talajnedvessége kevésbé tűnt

hasznosíthatónak a gyökérzet számára, ennek használatakor már lényegesen rosszabb eredményeket kaptunk. Ehhez hasonló r-értékek adódtak, ha a csapadékot vagy relatív (lég)nedvességet használtuk. A termikus elem vonatkozásában ilyen egyértelmű tendencia nem volt megfigyelhető. Megjegyzésre méltó azonban, hogy azok az összefüggések, melyekben a napfénytartamot szerepeltettük, az esetek nagy százalékában adtak rosszabb r-értékeket azoknál, amelyekben valamilyen hőmérsékleti információ szerepelt.

A növekedési jellemzők vonatkozásában általában a levélfelület változására voltak a legerősebb, a szárazanyag növekedésére a leggyengébb hatással a meteorológiai tényezők, a magasság alakulása pedig ilyen szempontból köztes helyet foglal el.

Hibridek szempontjából a FAO-400-as hibrid esetén voltak magasabb értékek észlelhetők: a 3 év adatait együttesen figyelembe vevő 252 összefüggés közül mindössze néhány nem volt legalább 5 %-os szinten szignifikáns, ezekben a termikus független változó a napfénytartam volt, a függő változó pedig általában a száraztömeg változása, ritkábban a magasságváltozás. A 300-as érésidejű hibridnél már - leszámítva azon összefüggéseket, ahol a levélfelület változása volt a függő változó - gyakoribbak voltak a rosszabb szignifikanciájú értékek. A hibridek közti ilyen különbség további elemzést igényel. Az egyes éveket külön vizsgálva az itt vázolt tendenciákból esetenként adódhattak eltérések, de általában az itt leírtak azokra is igazak. A kétváltozós összefüggések esetén már viszonylag magas korrelációs együtthatók az általánosak, nem ritkák a 0,1 vagy 1 %-os szinten szignifikáns eredmények.

A kétváltozós összefüggésvizsgálat zárásaként két ábrát mutatunk be, melyek szemléletesen fejezik ki a meteorológiai tényezők és a kukorica növekedése közötti szoros kapcsolatot. A 3.14 ábra a 300-as éréscsoport esetén demonstrálja a gyökér körüli talajréteg nedvessége és a felszínközeli talajhőmérséklet levélfelület alakulására tett hatását, a 3.15 ábra pedig a 400-as éréscsoport esetén mutatja a talajnedvesség és a minimum hőmérséklet magasság alakulására gyakorolt befolyását. Mindkét összefüggés 0,1 %-os szinten szignifikáns.



3.15 ábra. Két meteorológiai tényező együttes hatása a magasság változására (cm)

A meteorológiai tényezők és a növekedés kapcsolatának vizsgálatán belül a különböző növekedési jellemzőknek a hőmérséklettel való összefüggését eltérő nedvességi szintek mellett is elemeztük. Ez a vizsgálat az egy- és kétváltozós összefüggésvizsgálat speciális kombinációjának tekinthető. Az eddigi elemzésekből kiderült, hogy a termikus elemek közül a hőmérséklet növekedésre gyakorolt hatása alapvetően jó korrelációs együttható értékeket ad. Kíváncsiak voltunk, hogy különböző nedvességi szintek esetén ez az összefüggés hogyan alakul: száraz, átlagosan nedves illetve nedves talajokban fejlődő kukorica növekedése milyen mértékben függ a hőmérséklettől.

Az eddigi eredményeink alapján a hőmérsékleti jellemzők közül kiválasztottuk a legjobb eredményeket adókat. Ezek a következők: minimum- és átlaghőmérséklet (ezek 2 m magasan mért értékek), 2 cm mélységben mért talajhőmérséklet (tulajdonképpen - mint ahogy azt már tárgyaltuk – ez közelebb áll az állomány közvetlen környezetében mért léghőmérséklethez) és az 50 cm-es talajhőmérséklet (a kukorica gyökérzetének jelentős része ebben a mélységben helyezkedik el).

A nedvességi tényezők megválasztásához is az előző eredményeinkre támaszkodtunk. A 3.14 táblázat alapján látható, hogy a 400-as FAO-számú hibridnél az 51-100 cm-es réteg talajnedvessége, a 300 FAO-számúnál pedig a 41-60 cm-es réteg talajnedvessége mellett kaptuk a legszorosabb összefüggéseket (még ha a különbségek nem is voltak jelentősek).

Mindezek alapján tehát a 400-as FAO-számú hibrid esetén a 3 vizsgálati év összes dekádját figyelembe véve nagyság szerint rendeztük az 51-100 cm-es talajnedvességi értékeket (a hozzájuk tartozó különböző hőmérsékleti és növekedési adatokkal együtt), majd 3 csoportba soroltuk őket. Ugyanezt megtettük a 300-as FAO-számú hibrid 2 vizsgálati évének adataival is a 41-60 cm-es réteg talajnedvességi értékei alapján. A nedvességi szintek kialakításánál kettős szempontot vettünk figyelembe:

- az egyes kategóriákba nagyjából azonos számú adat tartozzon (tehát kerüljük el, hogy – sarkosan fogalmazva - az egyes kategóriába 1, a másikba pedig 30 eset kerüljön)

- a kategóriák határai tényleges különbséget jelentsenek, szakmailag értelmezhetők legyenek.

Ennek következtében (mivel az alapadatok a 2 hibrid 2 különböző talajrétege esetén különbözőek voltak) a 400-as illetve 300-as FAO-számú hibridnél eltérő szinteket hoztunk létre:

	FAO 400 esetén	FAO 300 esetén
1. talajnedvességi szint	0,50 alatt	0,65 alatt
2. talajnedvességi szint	0,50-0,70	0,65-0,80
3. talajnedvességi szint	0,70 fölött	0,80 fölött

Látható, hogy a 400-as FAO-számú hibridnél az 1. szint a kifejezetten száraz talajállapotot jelöli, a 2. az enyhén száraztól az optimális alsó határig terjed, a 3. pedig az optimális talajnedvesség alsó határánál magasabb értékeket gyűjti össze. A 300-as FAO-számú hibridnél az 1. szint az optimálisnál szárazabb, a 2. az optimális, a 3. pedig az optimálisnál nedvesebb talajnedvességeket tartalmazza.

Az ezen szempontok figyelembe vételével elvégzett vizsgálat eredményeit a 3.15 táblázat szemlélteti.

A 300-as FAO-számú hibrid esetén a hőmérséklet levélfelület alakulására gyakorolt hatásának nedvességfüggése a legeggyértelműbb. Valamennyi vizsgált kombináció esetén az optimális alatti talajnedvesség-szint mellett befolyásolja legerősebben a hőmérséklet a levélfelület alakulását, ezt az optimális feletti szint követi, míg optimális talajnedvesség mellett legkisebb a hőmérséklet hatása. Ebben az esetben nagyon magas értékeket kaptunk, az 1. nedvességi szint melletti r-értékek kivétel nélkül 0,9 fölöttiek.

A hőmérsékletnek a növénymagasság változására kifejtett befolyását analizálva hasonló tendenciát tapasztaltunk (azaz az optimális alatti - optimális feletti - optimális nedvességi szintek sorrendjében egyre csökkenő hőmérsékleti hatást figyelhetünk meg), de a különbségek és az értékek szignifikancia-szintje is kisebb volt.

A szárazanyag változásával való kapcsolat elemzésekor már zömében nem szignifikáns összefüggéseket kaptunk; a kivételt a legmagasabb nedvességi szint melletti korrelációs együtthatók jelentették. Általában itt is az optimális talajnedvesség esetén kapott értékek bizonyultak a legalacsonyabbnak.

3.15 táblázat. A hőmérséklet hatása a növekedési jellemzőkre eltérő nedvességi szinteknél
Összefüggésvizsgálat dekádadatak alapján (r-értékek)

		FAO400					
		lineáris			másodfokú		
		mag.	levf.	tömeg	mag.	levf.	tömeg
min.hőm.	1.talnedv.-i szint	0.0728	0.6861	0.6770	0.6327	0.7250	0.7200
	2.talnedv.-i szint	0.1536	0.4628	0.5988	0.2421	0.4985	0.5988
	3.talnedv.-i szint	0.6030	0.1806	0.3076	0.6527	0.2396	0.3277
	Egyesítve	0.3486	0.4171	0.3211	0.3918	0.4176	0.3303
átl. hőm.	1.talnedv.-i szint	0.0592	0.4012	0.6533	0.5267	0.4659	0.6686
	2.talnedv.-i szint	0.3715	0.4027	0.6516	0.3829	0.4746	0.6596
	3.talnedv.-i szint	0.5029	0.1792	0.1572	0.5057	0.3533	0.2220
	Egyesítve	0.3159	0.3812	0.2672	0.3205	0.3843	0.2680
talhőm. 2	1.talnedv.-i szint	0.0877	0.4085	0.7034	0.2468	0.5679	0.7570
	2.talnedv.-i szint	0.3135	0.4597	0.7326	0.4237	0.4611	0.7328
	3.talnedv.-i szint	0.4553	0.2010	0.0959	0.4668	0.4299	0.1233
	Egyesítve	0.3375	0.4349	0.2604	0.3375	0.4470	0.2629
talhőm. 50	1.talnedv.-i szint	0.0806	0.6124	0.7060	0.3170	0.7624	0.8041
	2.talnedv.-i szint	0.0866	0.3365	0.6991	0.3262	0.3661	0.7455
	3.talnedv.-i szint	0.4373	0.2594	0.3715	0.4567	0.3282	0.3856
	Egyesítve	0.2500	0.2864	0.3142	0.2550	0.2905	0.3187
		FAO300					
min.hőm.	1.talnedv.-i szint	0.6502	0.9420	0.0283	0.8775	0.9879	0.4004
	2.talnedv.-i szint	0.2209	0.2265	0.3035	0.5592	0.3357	0.3055
	3.talnedv.-i szint	0.6387	0.7636	0.7160	0.6883	0.7822	0.8751
	Egyesítve	0.3428	0.4453	0.2241	0.3490	0.4545	0.2427
átl. hőm.	1.talnedv.-i szint	0.6805	0.9099	0.0412	0.9208	0.9571	0.5208
	2.talnedv.-i szint	0.2890	0.0900	0.1179	0.5451	0.5357	0.4213
	3.talnedv.-i szint	0.5488	0.7888	0.5417	0.5505	0.7901	0.8103
	Egyesítve	0.2883	0.4802	0.0748	0.3274	0.5596	0.2324
talhőm. 2	1.talnedv.-i szint	0.6733	0.9258	0.0332	0.9484	0.9668	0.5414
	2.talnedv.-i szint	0.2369	0.1860	0.1183	0.6707	0.6181	0.2782
	3.talnedv.-i szint	0.5361	0.8117	0.4423	0.5375	0.8224	0.8020
	Egyesítve	0.3211	0.5524	0.0447	0.3696	0.6412	0.2098
talhőm. 50	1.talnedv.-i szint	0.5762	0.9064	0.0911	0.7737	0.9678	0.3338
	2.talnedv.-i szint	0.3550	0.0911	0.0707	0.4885	0.3172	0.1356
	3.talnedv.-i szint	0.4567	0.6820	0.6061	0.5888	0.6829	0.6063
	Egyesítve	0.3176	0.4587	0.1170	0.3564	0.4870	0.1913

Tehát a 300-as FAO-számú hibridnél a hőmérséklet levélfelületre gyakorolt hatása függ leginkább a talajnedvességtől. A növekedési jellemzőtől függ a kapcsolatok szorossága és az, hogy milyen nedvességi szint mellett a legerősebb a hőmérsékleti hatás, de általában igaz, hogy szélsőséges talajnedvességi szintek esetén a hőmérséklet növekedésre gyakorolt befolyása megnövekszik, optimális talajnedvesség mellett pedig lecsökken.

A 400-as FAO-számú hibridnél - mint már láttuk - nem sikerült hasonlóan megválasztani a szinteket, itt egy kifejezetten száraz, egy enyhén száraz illetve egy optimális és annál magasabb nedvességi szintet alakítottunk ki.

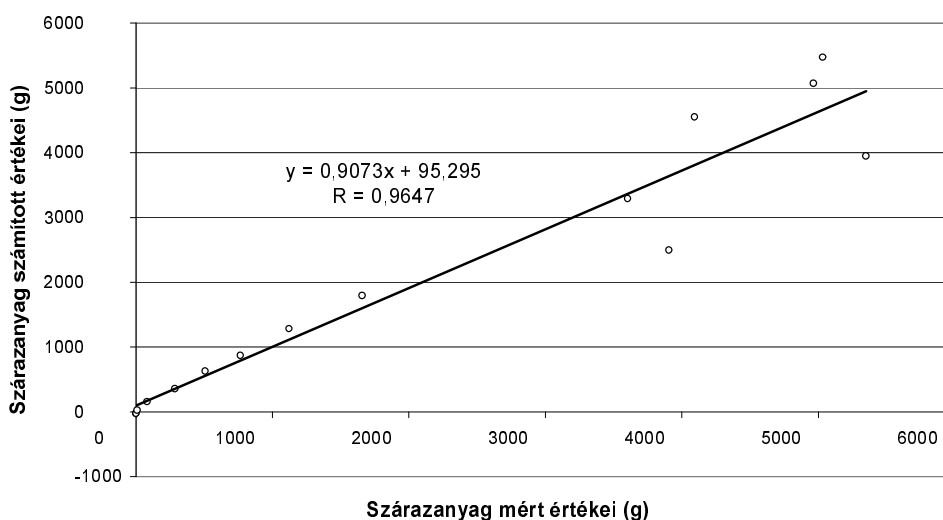
A hőmérséklet levélfelületre illetve száraz tömegre gyakorolt hatására jellemző, hogy a hőmérséklet a növekedést leginkább a legszélsőségesebb, legkevésbé az optimális nedvesség mellett befolyásolja. Ez egybecseng a másik hibridnél tapasztaltakkal. A hőmérséklet-magasság kapcsolat esetén viszonylag gyenge, zömében nem szignifikáns eredményeket kaptunk. Itt a hőmérséklet hatása a 3. szint mellett a legerősebb, ez azonban magába foglalja az optimális és az annál magasabb nedvességi értékeket is, így ebből nem egyértelmű, hogy melyik összetevőnek köszönhető az erősebb hőmérsékleti meghatározottság.

Összefoglalva az eltérő nedvességi szintek mellett végzett hőmérséklet-növekedés kapcsolat vizsgálata terén tapasztaltakat: általában *a szélsőségesebb vízgazdálkodási helyzet növeli a hőmérséklet kukorica növekedésére gyakorolt hatását, az optimális talajnedvességi állapot pedig csökkenti azt.*

Az éghajlat – szerves anyag gyarapodás kapcsolat modellezése: A hároméves kísérlet és 2000. évi folytatása lehetőséget biztosított, hogy megvizsgáljuk a hőmérsékleti, nedvességi és sugárzási információknak a növekedés előrejelzésére való felhasználhatóságát. Az utóbbi meteorológiai elem vonatkozásában a mért napfénytartam adatokból tényleges globálsugárzási értékeket képeztünk, s az 1997-99-es időszakra szoros ($r=0,90$) összefüggést állapítottunk meg a tényleges globálsugárzás és a szerves anyag gyarapodása között, majd ennek segítségével meghatároztuk a három év minden vizsgált dekádjában mért szerves anyag és a trend által adódó érték arányát. Ez a trendarány azt mutatja, hogy mennyiben tér el a szerves anyag gyarapodása attól,

amit a sugárzás hatásának ismeretében várhatnánk. A (sugárzási) trendarány 1 fölötti értékei az egyéb tényezők kedvező hatását jelzik, mivel a képződött szerves anyag mennyisége meghaladja a sugárzás által indokolt tömeget, 1 alatti értékek pedig kedvezőtlen hatást mutatnak.

A következő lépésben azt tettük vizsgálat tárgyává, hogy milyen mértékben tulajdonítható a hőmérsékletnek ez a változékonyság. Az egyes dekádokhoz tartozó hőmérsékletek és (sugárzási) trendarányok kapcsolatának vizsgálatakor azt tapasztaltuk, hogy a hőmérséklet nagymértékben ($r=0,78$) meghatározza a trendtől való eltéréseket, azaz a hőmérséklet és a sugárzás együttesen erőteljes befolyást gyakorol a növények által létrehozott biomassza mennyiségére. Vizsgáltuk a talajnedvesség és a szárazanyag gyarapodás kapcsolatát is, de csak gyenge, nem szignifikáns kapcsolatot találtunk. Ez azzal magyarázható, hogy a relatív talajnedvesség a vizsgált időszakban általában a kukorica számára kedvező (, illetve részben a nem túl kedvezőtlen) 50-80 %-os intervallumban mozgott, azaz nem érvényesültek erőteljes nedvességi hatások.



3.16 ábra. A szárazanyag mért és a sugárzás alapján számított értékei közötti összefüggés

Verifikálás céljából a kidolgozott összefüggések érvényességét a 2000. évi adatokon is megvizsgáltuk. A globálsugárzás és biomassza kapcsolatát leíró függvény

segítségével számítottuk a száraz anyag gyarapodásának 2000. évi alakulását. A dekádonkénti kumulált biomassa számított és tényleges értékei közötti nagyon szoros korrelációt a 3.16 ábra mutatja be. A hőmérsékleti hatást kifejező részmodell verifikálásakor azt találtuk, hogy a hőmérséklet 0,9-et meghaladó korrelációs együtthatóval jellemezhető mértékben függött össze a (sugárzási) trendarányval, azaz nagymértékben a hőmérsékletnek volt tulajdonítható a biomassa sugárzás által meghatározottól való (egyébként nem túl nagy) eltérése.

3.3 A METEOROLÓGIAI TÉNYEZŐK HATÁSA A KUKORICA FEJLŐDÉSÉRE

Az elvetett mag - mint azt az előző alfejezetben láttuk - a növény éréséig folyamatosan gyarapszik. A mennyiségi változások mellett azonban minőségi változások is történnek, s e két, egyidőben lejátszódó folyamatot: *a növekedést és a fejlődést célszerű külön vizsgálni, mivel különböznek a meteorológiai tényezők iránti érzékenységükben.*

A növény fejlődési folyamata egyfelől genetikailag kódolt, s így fajra jellemző, másfelől viszont a külső környezeti tényezők rendszerének hatása alatt áll. A növényfejlődés különböző szakaszaiban az egyes tényezők különbözőképpen hatnak, de ez nem jelenti azt, hogy a fejlődés bizonyos részében bármely (akár genetikai, akár környezeti) tényező szerepe kizárólagos lenne. Vizsgálatainkban mi a környezeti, azon belül is a meteorológiai tényezőcsoport jelentőségét kívántuk feltárni adott genotípus(ok) mellett.

A kukorica, bár szubtrópusi származású növény, viszonylag változatos körülmények között képes termést hozni. A *Trewartha* (1954) által hosszabb meleg időszakkal bíró, hűvös kontinentális éghajlati típusba sorolt magyarországi klíma is feltételt biztosít a kukorica fejlődéséhez. *Hazánk területe e növény termesztési körzetének északi részén található, így fajtaválasztékunk jelentős részét - mint ahogy erre már utaltunk - a korai és középkorai éréscsoportú hibridek teszik ki. Ezért*

fenológiai vizsgálataink során is ezen éréscsoportokra összpontosítva vizsgáltuk a növényfejlődés és a meteorológiai hatótényezők kapcsolatát.

A fenológia a fejlődés folyamán végbemenő látható változásokkal foglalkozik, amelyek segítségével a vetéstől érésig terjedő intervallum felosztható. Ezeket az elkülöníthető időszakokat fenológiai szakaszoknak nevezzük. Ezek, valamint az ezek határát kijelölő fenológiai jelenségek képezik alapját a fejlődés és a meteorológiai tényezők közötti kapcsolatok vizsgálatának. Az elvégzett összefüggésvizsgálatokkal egy vagy több vizsgált tényező közötti kapcsolat szorosságát állapítottuk meg a korrelációs együttható (r -érték) segítségével. A 3.17-3.25 táblázatokban alkalmazott jelölések magyarázata az Anyag és módszer fejezetben a 2.1 táblázat után található.

Kukorica esetén is a vetéstől érésig terjedő időszak több felosztása ismeretes. Mi azt a módszert alkalmaztuk, amely a növény fejlődését három részre osztja: a vetés-kelés szakaszban a növény a talajban található, s a meteorológiai tényezők a talajon keresztül fejtik ki hatásukat; a kelés-címerhányás szakasz a vegetatív, a címerhányás-érés szakasz pedig a generatív fejlődést jelenti.

E fejezet összeállításakor az e tárgyban végzett korábbi munkáink (Varga 1996, Varga-Haszonits és Varga 1998) eredményeit is felhasználtuk.

3.3.1 A kukorica fenológiai fázisai

A 3.16 táblázat a fázistartamok hosszának átlagos és szélső értékeire vonatkozó információkat összesíti. A vizsgált időszak a korai éréscsoport esetén 20 év (1966-85), a középkorai éréscsoport esetén pedig 25 év (1961-85). Utóbbi csoport esetén 9 állomásról vannak adataink, de mivel Karcag, Szarvas és Szombathely esetén a rendelkezésre álló időszak csak 20-21 év, ezért adataik itt nem szerepelnek.

A vetés-kelés időszak átlagosan 12-14 napig tartott. Leghosszabb ideig a hűvösebb, lassabban felmelegedő Dunántúlon, legrövidebb ideig pedig a melegebb, szárazabb, ezért gyorsabban felmelegedő Alföldön kelt ki a kukorica. Vizsgáltuk a vetéskori hőmérsékletet is. Ez a vizsgált időszak átlagában 10 és 14 °C között mozgott, ami jó egyezést mutat a kukorica általánosan elfogadott bázishőmérsékletével. A területi megoszlás megegyezett a vetés-kelés időszak hosszánál tapasztalttal. Mindazonáltal a

különbségek nem jelentősek, mint ahogyan a 20 illetve 25 év folyamán tapasztalt legrövidebb illetve leghosszabb *vetés-kelés időszakok területi változékonysága is mindössze néhány nap*. Ugyanakkor az egyes években jelentős különbségek lehetnek a fenofázis hosszában.

A kelés-címerhányás időszak átlagosan kb. 2 hónapig tartott; a Dunántúlon 66-67 napig is, míg az Alföldön ez 60 nap körül maradt. Minthogy itt hosszabb időszakra van szó, a különbségek - abszolút értékben - nagyobbak, de relatíve hasonlóak, sőt az időbeli változékonyság kisebb, azaz adott helyen a kelés-címerhányás szakasz a vetés-kelésnél kiegyensúlyozottabb képet mutat.

3.16 táblázat. A vizsgált éréscsoportok fázistartamainak statisztikája

Állomás	Vetés-kelés					Kelés-címerhányás					Címerhányás-érés				
	min.	átlag	Max.	m/á	M/á	min.	átlag	Max.	m/á	M/á	min.	átlag	Max.	m/á	M/á
korai csoport	7	12	20	0.58	1.67	53	61	71	0.87	1.16	60	84	120	0.71	1.43
Abaújszántó	7	12	20	0.58	1.67	53	61	71	0.87	1.16	60	84	120	0.71	1.43
Debrecen	9	12	20	0.75	1.67	48	58	68	0.83	1.17	58	82	119	0.71	1.45
Iregszemcse	6	14	22	0.43	1.57	51	63	76	0.81	1.21	59	81	115	0.73	1.42
Kompolt	8	12	20	0.67	1.67	51	62	74	0.82	1.19	52	69	95	0.75	1.38
Székkutas	7	12	17	0.58	1.42	50	61	77	0.82	1.26	43	68	101	0.63	1.49
Szombathely	8	14	22	0.57	1.57	57	66	75	0.86	1.14	47	80	106	0.59	1.33
Tordas	6	13	21	0.46	1.62	52	63	79	0.83	1.25	67	83	107	0.81	1.29
középkorai cs.	min.	átlag	Max.	m/á	M/á	min.	átlag	Max.	m/á	M/á	min.	átlag	Max.	m/á	M/á
Debrecen	7	13	21	0.54	1.62	50	62	76	0.81	1.23	43	77	127	0.56	1.65
Iregszemcse	4	12	20	0.33	1.67	56	66	79	0.85	1.20	53	83	117	0.64	1.41
Kaposvár	6	13	20	0.46	1.54	56	66	75	0.85	1.14	64	89	121	0.72	1.36
Mátételke	5	12	26	0.42	2.17	47	63	72	0.75	1.14	50	79	120	0.63	1.52
Székkutas	7	12	17	0.58	1.42	54	64	72	0.84	1.13	47	74	97	0.64	1.31
Tordas	8	14	21	0.57	1.50	57	67	81	0.85	1.21	58	88	122	0.66	1.39

Az átlagosan 74-89 napig tartó címerhányás-érés fázistartam területi eloszlása is megfelel az előző két szakaszénak. Az időbeli változékonyság a kelés-címerhányás szakaszénál nagyobb, de a vetés-kelés szakaszétól elmarad.

A fenológiai fázistartamok átlagos értékeinek összegzésével nyert 141-160 nap (korai éréscsoport; az alföldi Székkutason a legrövidebb, a nyugati Szombathelyen a leghosszabb) illetve 150-169 nap (középkorai éréscsoport; Székkutason volt a legrövidebb, Tordason a leghosszabb) valamelyest hosszabb, mint a *Láng* (1976) által Tápíószelén végzett kísérletek által publikált 125-130 nap. A tenyészidő a korai csoport esetén április harmadik, május első dekájától szeptember második feléig, október elejéig tart, ami a középkorai csoportnál úgy módosult, hogy azérés kb. 10 nappal később következett be. Ezen időszakok jól megegyeznek a 10 °C-os léghőmérséklet

(ami lényegében a kukorica bázishőmérsékletének felel meg) bekövetkezési időpontjai által behatárolt időszakkal, melyre vonatkozóan *Varga-Haszonits* (1987) 1951-80-as adatok feldolgozásával az április második dekádja-október második dekádja intervallumot adta meg, s amelyre mi is hasonló eredményt kaptunk az 1951-90-es időszak adatai alapján.

3.3.2 Az egyes meteorológiai elemek és a fázistartam közötti kapcsolat

A 3.17 és 3.18 táblázatokban a meteorológiai tényezők és a fázistartam közötti egyváltozós összefüggésvizsgálat eredményeit tüntettük fel. E táblázatok másodfokú összefüggések korrelációs értékeit tartalmazzák. E vizsgálatokat lineáris és negyedfokú kapcsolat esetén is elvégeztük, s az itt közöltekkel megegyező tendenciákat észleltünk, így azokra külön nem térünk ki.

3.17 táblázat. Meteorológiai tényezők hatása a korai éréscsoport fázistartamaira (1966-85; másodfokú összefüggés r értékei)

Állomás	Fenofázis	csapadék	Hőmérs.	rel. taln.	rad. index	napf.tart.	pár.kép.
Abaújszántó	1.	<u>0.6230</u>	<u>0.6105</u>	<u>0.3629</u>	<u>0.6053</u>	0.6595	<u>0.6223</u>
	2.	<u>0.0714</u>	<u>0.4397</u>	<u>0.0300</u>	<u>0.7873</u>	<u>0.4368</u>	<u>0.3092</u>
	3.	<u>0.4560</u>	<u>0.9696</u>	<u>0.4352</u>	<u>0.9220</u>	<u>0.8412</u>	<u>0.8872</u>
Debrecen	1.	<u>0.6676</u>	<u>0.4373</u>	<u>0.4677</u>	<u>0.8196</u>	0.7365	<u>0.6410</u>
	2.	<u>0.3413</u>	<u>0.5903</u>	<u>0.2449</u>	<u>0.8232</u>	<u>0.3295</u>	<u>0.7617</u>
	3.	<u>0.1364</u>	<u>0.8969</u>	<u>0.5737</u>	<u>0.9774</u>	<u>0.8723</u>	<u>0.9203</u>
Iregszemcse	1.	<u>0.7662</u>	<u>0.8634</u>	<u>0.1789</u>	<u>0.9635</u>	<u>0.8273</u>	<u>0.8405</u>
	2.	<u>0.1261</u>	<u>0.7586</u>	<u>0.4634</u>	<u>0.8989</u>	<u>0.4610</u>	0.7140
	3.	<u>0.4481</u>	<u>0.8778</u>	0.5174	<u>0.9547</u>	<u>0.8015</u>	<u>0.7812</u>
Kompolt	1.	<u>0.3240</u>	<u>0.5299</u>	<u>0.3511</u>	<u>0.8825</u>	<u>0.3971</u>	<u>0.3127</u>
	2.	<u>0.2548</u>	<u>0.8349</u>	<u>0.2010</u>	<u>0.9467</u>	<u>0.4486</u>	0.5313
	3.	<u>0.4852</u>	<u>0.9185</u>	0.4899	<u>0.9371</u>	0.6812	<u>0.8046</u>
Székkutas	1.	<u>0.4681</u>	<u>0.9074</u>	<u>0.2152</u>	<u>0.9544</u>	<u>0.7586</u>	<u>0.8664</u>
	2.	<u>0.4169</u>	0.5121	<u>0.3110</u>	<u>0.9069</u>	<u>0.2456</u>	<u>0.2502</u>
	3.	<u>0.4835</u>	<u>0.6233</u>	<u>0.3876</u>	<u>0.9616</u>	0.5141	<u>0.3022</u>
Szombathely	1.	<u>0.4870</u>	<u>0.8096</u>	<u>0.1871</u>	<u>0.9083</u>	<u>0.7505</u>	<u>0.7517</u>
	2.	<u>0.0742</u>	0.6478	<u>0.3996</u>	<u>0.8925</u>	<u>0.5734</u>	<u>0.7537</u>

	3.	0.2066	<u>0.8437</u>	0.3874	<u>0.9788</u>	0.6714	0.6366
Tordas	1.	0.6810	<u>0.6439</u>	0.1987	<u>0.9501</u>	<u>0.5857</u>	0.6940
	2.	0.2324	0.6531	0.1852	<u>0.8895</u>	0.4140	0.6147
	3.	0.4142	<u>0.9059</u>	<u>0.5816</u>	<u>0.8826</u>	<u>0.8059</u>	<u>0.8942</u>

A táblázatok eredményeit a meteorológiai tényezők szempontjából elemezve azt láthatjuk, hogy a fejlődésre a termikus tényezők erősebben hatnak, mint a higrikusak, s ez utóbbiak közül is ott kaptuk a legjobb összefüggést, ahol a termikus tényezőkkel kapcsolatban álló párologtatóképesség szerepelt. Ez a napfénytartammal közel hasonló erősséggel hatott. A termikus tényezők közül a hőmérséklet általában erősebben befolyásolta a fázistartam hosszát, mint a napfénytartam, de a legerőteljesebb összefüggést a radiotermikus index esetén tapasztaltuk. Az egységnyi sugárzásra jutó hőmérséklet-mennyiség szinte valamennyi esetben 0,1 %-os szinten szignifikáns eredményt adott; a fázistartam hosszát általában több, mint 80 %-ban magyarázza ezen index alakulása. Egyes állomások esetén, a radiotermikus helyett a fototermikus indexet alkalmaztuk, s azt tapasztaltuk, hogy az egységnyi napsütéses időszakra vonatkozó hőmérséklet-mennyiség a radiotermikus indexhez hasonlóan erős befolyással van a fejlődésre.

3.18 táblázat. Meteorológiai tényezők hatása a középkorai éréscsoport fázistartamaira (1961-85; másodfokú összefüggés r értékei)

Állomás	Fenofázis	csapadék	Hőmérs.	rel. taln.	rad. index	napf.tart.	pár.kép.
Debrecen*	1.	0.4625	<u>0.7372</u>	<u>0.5181</u>	<u>0.7987</u>	0.3770	0.3997
	2.	0.2818	0.5535	<u>0.5217</u>	0.7670	0.4442	0.5865
	3.	0.4312	<u>0.8206</u>	0.5996	<u>0.9583</u>	<u>0.8480</u>	<u>0.8178</u>
Iregszemcse	1.	<u>0.5445</u>	<u>0.8235</u>	0.4228	<u>0.8675</u>	0.6006	<u>0.6833</u>
	2.	0.1533	<u>0.5364</u>	0.3846	<u>0.8664</u>	0.4419	0.6019
	3.	0.2787	<u>0.9068</u>	0.6693	<u>0.9633</u>	<u>0.8389</u>	<u>0.8488</u>
Kaposvár	1.	0.3982	<u>0.5321</u>	0.2449	<u>0.9321</u>	0.6618	0.5221
	2.	0.0707	0.5912	0.4804	<u>0.9570</u>	0.3280	0.3473
	3.	0.3750	<u>0.7275</u>	0.3367	<u>0.8908</u>	<u>0.6657</u>	0.6819
Mátételke*	1.	<u>0.5263</u>	0.5847	0.4666	<u>0.9286</u>	0.6060	<u>0.5390</u>
	2.	0.2524	0.5666	0.1196	<u>0.8705</u>	0.2941	0.6719
	3.	0.2035	<u>0.9047</u>	0.6783	<u>0.9261</u>	<u>0.7553</u>	<u>0.7956</u>
Székkutas	1.	<u>0.6629</u>	<u>0.9342</u>	0.2209	<u>0.9733</u>	<u>0.8097</u>	<u>0.8359</u>
	2.	<u>0.5053</u>	<u>0.5229</u>	0.2241	<u>0.8892</u>	0.1349	0.2532

	3.	<u>0.3923</u>	<u>0.7523</u>	0.4370	<u>0.8932</u>	<u>0.8053</u>	0.6105
Tordas	1.	<u>0.6847</u>	<u>0.8626</u>	0.4701	<u>0.9552</u>	0.6186	<u>0.8317</u>
	2.	<u>0.0510</u>	<u>0.6880</u>	<u>0.1470</u>	<u>0.9205</u>	<u>0.2610</u>	0.6516
	3.	<u>0.2987</u>	<u>0.8976</u>	0.4499	<u>0.9558</u>	<u>0.8186</u>	<u>0.8430</u>

**a radiotermikus index helyett a fototermikus index szerepel*

A fenofázisok vonatkozásában azt mondhatjuk, hogy általában a 2. szakasz, a kelés-címerhányás időszak alatt volt a leggyengébb a meteorológiai tényezők hatása. A termikus tényezők általában a 3. etap (címerhányás-érés) alatt befolyásolták legerőteljesebben a fejlődést, míg a higrikus tényezők esetén nem volt egyértelmű tendencia észlelhető az 1. (vetés-kelés) és a 3. szakasz összevetésében.

Az itt vázolt összefüggések mind a két éréscsoport és valamennyi megfigyelőhely esetén érvényesek.

3.19 táblázat. Meteorológiai tényezők együttes hatása a fázistartamra (másodfokú összefüggés r értékei)

korai éréscsoport				középkorai éréscsoport			
Állomás	Fenofázis	hőm.-rel. taln.	ind.-rel. taln.	Állomás	Fenofázis	hőm.-rel. taln.	ind.-rel. taln.
Abaújszántó	1.	<u>0.7259</u>	<u>0.8615</u>	Debrecen*	1.	<u>0.9242</u>	<u>0.8347</u>
	2.	<u>0.4752</u>	<u>0.8561</u>		2.	0.7521	<u>0.8809</u>
	3.	<u>0.9823</u>	<u>0.9814</u>		3.	<u>0.8984</u>	<u>0.9646</u>
Debrecen	1.	<u>0.5635</u>	<u>0.5537</u>	Iregszemcse	1.	<u>0.8424</u>	<u>0.9622</u>
	2.	<u>0.5997</u>	<u>0.8742</u>		2.	<u>0.6190</u>	<u>0.8773</u>
	3.	<u>0.9069</u>	<u>0.9328</u>		3.	<u>0.9113</u>	<u>0.9688</u>
Iregszemcse	1.	<u>0.8785</u>	<u>0.9652</u>	Kaposvár	1.	<u>0.6496</u>	<u>0.9427</u>
	2.	<u>0.7817</u>	<u>0.9030</u>		2.	<u>0.6549</u>	<u>0.9603</u>
	3.	<u>0.9033</u>	<u>0.9590</u>		3.	<u>0.7808</u>	<u>0.9077</u>
Kompolt	1.	<u>0.6527</u>	<u>0.9019</u>	Mátételke*	1.	0.5874	<u>0.9350</u>
	2.	<u>0.8653</u>	<u>0.9471</u>		2.	<u>0.6086</u>	<u>0.8991</u>
	3.	<u>0.9259</u>	<u>0.9372</u>		3.	<u>0.9109</u>	<u>0.9354</u>
Székkutas	1.	<u>0.9165</u>	<u>0.9564</u>	Székkutas	1.	<u>0.9373</u>	<u>0.9766</u>
	2.	<u>0.5755</u>	<u>0.9135</u>		2.	<u>0.5755</u>	<u>0.8906</u>
	3.	<u>0.7266</u>	<u>0.9620</u>		3.	<u>0.7640</u>	<u>0.9016</u>
Szombathely	1.	<u>0.8582</u>	<u>0.9184</u>	Tordas	1.	<u>0.9028</u>	<u>0.9589</u>
	2.	<u>0.7274</u>	<u>0.8941</u>		2.	<u>0.6980</u>	<u>0.9372</u>

	3.	<u>0.8867</u>	<u>0.9815</u>		3.	<u>0.9019</u>	<u>0.9611</u>
Tordas	1.	<u>0.7000</u>	<u>0.9618</u>				
	2.	<u>0.6553</u>	<u>0.8940</u>				
	3.	<u>0.9155</u>	<u>0.8942</u>				

**a radiotermikus index (ind) helyett fototermikus index szerepel*

Megismerve az egyes meteorológiai tényezők és a fázisstartam összefüggéseit, megvizsgáltuk, hogy több meteorológiai tényező együttesen milyen mértékben határozza meg a kukorica fejlődését. Erre vonatkozó eredményeinket a 3.19 táblázat tartalmazza. Egy higrikus és egy termikus tényező közös hatását vizsgáltuk. A higrikus tényezők közül a növény által közvetlenül hozzáférhető vízmennyiséget kifejező relatív talajnedvességet választottuk, míg a termikus tényezők közül a 3.17 és 3.18 táblázat szerint a fejlődéssel nagyon szorosan összefüggő hőmérsékletet illetve radiotermikus indexet alkalmaztuk összehasonlítás céljából.

A 3.19 táblázatban látható, hogy a fenofázisok vonatkozásában az egyváltozós összefüggésvizsgálatnál tapasztaltak itt is érvényesülnek, *azaz általában a vegetatív fejlődés időszakában a leggyengébb a meteorológiai hatás*, míg a legtöbb helyen a generatív fejlődés időszakában a legerősebb. Ez utóbbitól viszont alig maradnak el a kezdeti fejlődés idejét jellemző korrelációs együttható értékek. Területi eloszlás nem rajzolódik ki egyértelműen. *Ha a hőmérséklet helyett az egységnyi sugárzásra (vagy napfénytartamra) vonatkoztatott hőmérsékletet használjuk, a fejlődéssel való összefüggés szinte mindenütt és a fejlődés bármely szakaszában 0,9 körüli vagy fölötti r-értékekkel jellemezhető*, bár a hőmérséklet alkalmazásakor is általában jó, 0,1 %-os szinten szignifikáns eredményeket kaptunk. A sugárzás és sugárzás együttes hatását kifejező index és a fejlődés közötti szinte determinisztikus kapcsolat további vizsgálatokat indokolt. Mivel a meteorológiai tényezőknek a fejlődésre gyakorolt hatásában hasonló tendenciákat észleltünk, felvetődött, hogy érécsoportonként egyesítve az összes hazai fenológiai adatot, általános érvényességű összefüggésekhez juthatunk. Ezt azonban csak akkor tehetjük meg, ha kimutatjuk, hogy a különböző állomások fenológiai adatai között tényleges kapcsolat van. Ezért megvizsgáltuk, hogy mennyire szoros ez a kapcsolat.

Látható, hogy az emberi tevékenységtől függő vetési időpont mutatja a leggyengébb kapcsolatot; a legerősebb szinten nincs szignifikáns összefüggés semelyik éréscsoport esetén, s bár valamelyest gyengébb szignifikanciájú kapcsolat néhány kimutatható, a vizsgált esetek nagyobbik része nem szignifikáns.

Vetési időpontok közötti összefüggés ↓							
	Abau	Debr	Ireg	Komp	Szku	Szom	Tord
Abau	1.0000	0.5421	0.6846	0.5076	0.3243	0.1341	0.3765
Debr	0.7757	1.0000	0.5203	0.6025	0.3884	0.4035	0.5247
Ireg	0.6487	0.7373	1.0000	0.5322	0.4326	0.2244	0.3243
Komp	0.5066	0.6195	0.7286	1.0000	0.2509	0.4677	0.5183
Szku	0.4512	0.5439	0.7078	0.4916	1.0000	0.1187	0.2810
Szom	0.6156	0.6828	0.7761	0.6002	0.4304	1.0000	0.4447
Tord	0.6624	0.8098	0.7551	0.6550	0.6026	0.7863	1.0000
Kelési időpontok közötti összefüggés ↑							
Címerhányási időpontok közötti összefüggés ↓							
	Abau	Debr	Ireg	Komp	Szku	Szom	Tord
Abau	1.0000	0.8713	0.7675	0.7732	0.8483	0.7657	0.8657
Debr	0.9132	1.0000	0.7688	0.8284	0.8850	0.6761	0.7847
Ireg	0.8120	0.7481	1.0000	0.8813	0.7164	0.8617	0.9205
Komp	0.7110	0.8703	0.7422	1.0000	0.8058	0.7597	0.9047
Szku	0.6708	0.5915	0.6646	0.8004	1.0000	0.6247	0.7107
Szom	0.7685	0.7055	0.6529	0.6920	0.6367	1.0000	0.8472
Tord	0.8917	0.8519	0.9266	0.8215	0.7141	0.7931	1.0000
Érési időpontok közötti összefüggés ↑							

Annak ellenére, hogy a vetés erősen az embertől függő tevékenység, a kelések már lényegében nem tükrözik az ezzel járó (területi) különbségeket. A korai éréscsoportnál a vizsgált kombinációk kb. fele legalább 1 %-os szinten szignifikáns. Nem szignifikáns kapcsolatot csak elvétve találtunk. A középkorai csoport adatainak nagyobb heterogenitását mutatja, hogy a vizsgált esetek kb. negyede szignifikáns 0,1 %-os szinten, harmada 1 %-os szinten, s az állomáspárok kb. negyede között nem mutatható ki kapcsolat. Mindazonáltal összességében a kelések időpontjai közötti kapcsolat elvitathatatlan. Fokozottan jelentkezik ez a címerhányás illetve az érés időpontjának vizsgálatakor. A korai éréscsoportnál csak elvétve fordul elő olyan párosítás, melynek időpontjai között ne 0,1 vagy 1 %-os szinten lenne szignifikáns a kapcsolat, s 5 %-nál gyengébb szignifikancia egyáltalán nem fordul elő. A középkorai éréscsoport vizsgálatakor is mind a címerhányás, mind az érés vonatkozásában nagyon erős összefüggéseket találtunk, az esetek több, mint kétharmadában %-ában legalább 1 %-os szinten szignifikánsak az időpontok közötti kapcsolatok.

3.21 táblázat. Fenológiai jelenségek bekövetkezési időpontjainak összefüggései (r értékek; középkorai éréscsoport)

Vetési időpontok közötti összefüggés ↓									
	Debr	Ireg	Kaps	Karc	Mate	Szku	Szom	Szrv	Tord
Debr	1.0000	0.6389	0.0734	0.6670	0.3193	0.4396	0.3558	0.3870	0.4962
Ireg	0.7351	1.0000	0.3016	0.2711	0.1691	0.4543	0.3368	0.3214	0.1417
Kaps	0.3645	0.6610	1.0000	0.1587	0.0900	0.4868	0.3165	0.4761	0.3559
Karc	0.7318	0.6991	0.5005	1.0000	0.4743	0.3315	0.1694	0.2894	0.2366
Mate	0.5715	0.7497	0.1843	0.4972	1.0000	0.1053	0.3788	0.5000	0.4293
<i>Szku</i>	0.5431	0.7393	0.5325	0.3246	0.4693	1.0000	0.4042	0.6331	0.3633
Szom	0.5519	0.4871	0.1972	0.3284	0.3570	0.3514	1.0000	0.3162	0.1473
Szrv	0.6118	0.6954	0.4146	0.0648	0.6947	0.7724	0.4236	1.0000	0.3911
Tord	0.6809	0.7592	0.6969	0.1702	0.6212	0.5333	0.1090	0.4573	1.0000
Kelési időpontok közötti összefüggés ↑									
Címerhányási időpontok közötti összefüggés ↓									
	Debr	Ireg	Kaps	Karc	Mate	Szku	Szom	Szrv	Tord
Debr	1.0000	0.8929	0.6329	0.9029	0.8307	0.9098	0.7925	0.8685	0.8032
Ireg	0.8695	1.0000	0.6316	0.8056	0.7713	0.8256	0.8185	0.7999	0.9008
Kaps	0.7182	0.8857	1.0000	0.5338	0.5160	0.6790	0.3887	0.6702	0.6100
Karc	0.5116	0.5911	0.5131	1.0000	0.5264	0.6342	0.8443	0.6122	0.5189

<i>Mat</i>	<u>0.7963</u>	<u>0.8993</u>	<u>0.8912</u>	<i>0.0348</i>	1.0000	<u>0.8348</u>	<i>0.6397</i>	<u>0.9130</u>	<u>0.7900</u>
<i>e</i>									
Szku	<u>0.5216</u>	0.6700	<u>0.7214</u>	<i>0.2733</i>	<u>0.7062</u>	1.0000	<u>0.8495</u>	<u>0.8303</u>	<u>0.7655</u>
Szom	<u>0.8149</u>	<u>0.9042</u>	<u>0.8477</u>	0.6571	<u>0.8601</u>	0.6894	1.0000	0.5270	0.5409
Szrv	0.7161	<u>0.8006</u>	<u>0.7927</u>	<i>0.3190</i>	<u>0.7839</u>	<u>0.8049</u>	<i>0.6148</i>	1.0000	<u>0.7325</u>
Tord	<u>0.8630</u>	<u>0.8597</u>	<u>0.8019</u>	<i>0.4824</i>	<u>0.8173</u>	<u>0.6912</u>	<i>0.6095</i>	0.7258	1.0000
Érési időpontok közötti összefüggés ↑									

Ezt követően a fázisstartamok hossza közötti összefüggést vizsgáltuk. A vetés-kelés, kelés-címerhányás illetve címerhányás-érés szakaszokra vonatkozó elemzések eredményei a korai éréscsoportra a 3.22 táblázatban, a középkorai éréscsoportra vonatkozóan pedig a 3.23 táblázatban találhatók. Az egyes állomásokon meghatározott fenológiai fázisstartam értékek között mindhárom fázisstartamra vonatkozóan szoros, zömében szignifikáns összefüggéseket kaptunk. A korai éréscsoportnál a vetés-kelés fázis esetén a kombinációk több, mint fele, a másik két fázis esetén pedig több, mint kétharmada legalább 5 %-os szinten szignifikáns. Nem-szignifikáns kapcsolat csak elvétve akad. Közel hasonlóak az arányok a középkorai éréscsoportnál is, azzal a különbséggel, hogy a nem-szignifikáns esetek száma valamelyest több.

3.22 táblázat. Fázisstartamok hossza közötti összefüggések (r értékek; korai éréscsoport)

Vetés-kelés fázis hossza közötti összefüggés ↓							
	Abau	Debr	Ireg	Komp	Szku	Szom	Tord
Abau	1.0000	0.6994	0.5433	<i>0.4119</i>	<u>0.5596</u>	0.7280	0.5112
Debr	0.7297	1.0000	<u>0.6001</u>	<i>0.5741</i>	<i>0.6196</i>	0.6873	<u>0.5836</u>
Ireg	<i>0.4841</i>	<u>0.5830</u>	1.0000	<i>0.4840</i>	0.7015	0.4985	0.5316
Komp	0.5331	<u>0.7927</u>	<u>0.7498</u>	1.0000	<i>0.3887</i>	<i>0.3984</i>	0.4941
Szku	0.7028	<u>0.8536</u>	<i>0.4672</i>	0.5375	1.0000	<i>0.6203</i>	0.5287
Szom	<i>0.3819</i>	<u>0.5905</u>	<u>0.7864</u>	0.7092	<u>0.5914</u>	1.0000	<i>0.6284</i>
Tord	<u>0.5471</u>	0.6816	<u>0.8878</u>	<i>0.7752</i>	<u>0.5612</u>	<u>0.7880</u>	1.0000
Kelés-címerhányás fázis hossza közötti összefüggés ↑							
Címerhányás-érés fázis hossza közötti összefüggés ↓							
	Abau	Debr	Ireg	Komp	Szku	Szom	Tord
Abau	1.0000	<u>0.8726</u>	0.6678	<i>0.6139</i>	<i>0.4753</i>	0.7071	<u>0.7828</u>
Debr		1.0000	<i>0.6297</i>	<u>0.7917</u>	<i>0.3263</i>	<u>0.5962</u>	0.7360
Ireg			1.0000	<i>0.6351</i>	<i>0.3528</i>	0.5037	<u>0.8374</u>
Komp				1.0000	<u>0.5991</u>	<i>0.6283</i>	0.6841

3.3.3 Az éghajlat-fázisstartam kapcsolat többváltozós elemzése

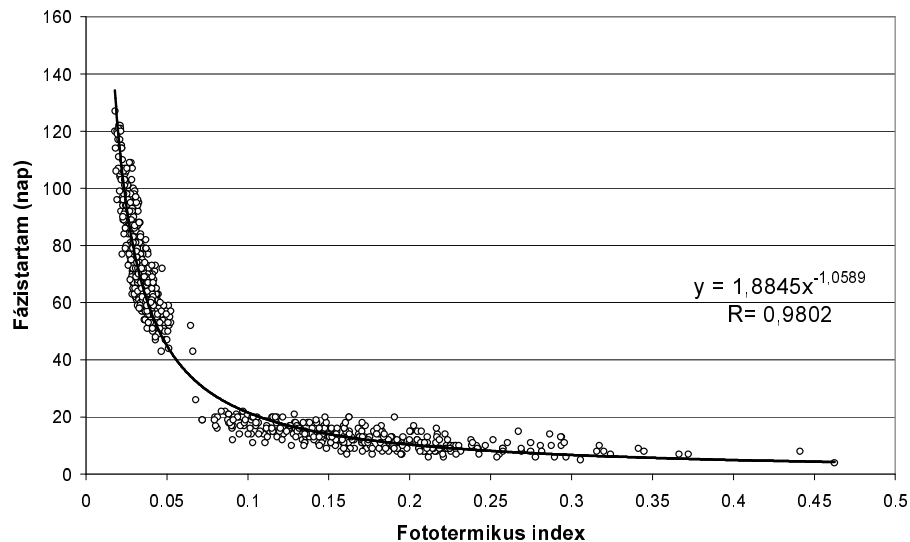
Ilyen, országosan egyesített adathalmazon elvégzett egy- illetve többváltozós összefüggésvizsgálat eredményeit tartalmazza mindkét éréscsoportra a 3.24 táblázat. Az egyváltozós vizsgálatokból látható, hogy legkevésbé a napfénytartam befolyásolja a fázisstartamot, a hőmérséklet esetén magasabb korrelációs együtthatókat kapunk, míg a fototermikus index (egységnyi napfénytartamra vonatkozó hőmérséklet mennyiség) esetén olyan jó összefüggések adódtak, hogy r-értékei hasonlóak a többváltozós összefüggések értékeihez. Az etapokat összehasonlítva az látható, hogy - megegyezően az eddig tapasztalatakkal - a vegetatív szakaszban hatnak a legkevésbé, a generatívban pedig a legjobban a vizsgált meteorológiai tényezők. Az éréscsoportok között nem volt jelentős különbség a meteorológiai tényezők fázisstartamra gyakorolt hatása alapján. Szinte valamennyi kapott érték 0,1 %-os szinten szignifikáns, ami azt jelzi, hogy a különböző fenológiai állomások adatai éréscsoportonként valóban egyesíthetők, s az így kapott egységes adathalmazon a meteorológiai tényezők és a kukorica fejlődése közötti kapcsolat vizsgálható.

3.24 táblázat. A meteorológiai tényezők hatása a fázisstartamra országosan (egy- illetve többváltozós másodfokú összefüggésvizsgálat r értékei)

Korai éréscsoport	Hőmérs.	Napf.tart.	Fototerm. i.	Hőm.-Napf.	Hőm.-Nedv.i.	Hőm.-Napf.-Nedv. i.
Vetés-kelés	<u>0.6642</u>	<u>0.6235</u>	<u>0.6903</u>	<u>0.7162</u>	<u>0.7411</u>	<u>0.7484</u>
Kelés-c.hányás	<u>0.6407</u>	<u>0.2895</u>	<u>0.7285</u>	<u>0.6512</u>	<u>0.6454</u>	<u>0.6575</u>
C.hányás-érés	<u>0.8684</u>	<u>0.7313</u>	<u>0.8844</u>	<u>0.8741</u>	<u>0.8719</u>	<u>0.8808</u>
Középkorai éréscsoport	Hőmérs.	Napf.tart.	Fototerm. i.	Hőm.-Napf.	Hőm.-Nedv.i.	Hőm.-Napf.-Nedv. i.
Vetés-kelés	<u>0.7405</u>	<u>0.6111</u>	<u>0.7856</u>	<u>0.7537</u>	<u>0.7513</u>	<u>0.7615</u>
Kelés-c.hányás	<u>0.5301</u>	<u>0.2069</u>	<u>0.7752</u>	<u>0.5327</u>	<u>0.5333</u>	<u>0.5380</u>
C.hányás-érés	<u>0.8242</u>	<u>0.7710</u>	<u>0.8847</u>	<u>0.8490</u>	<u>0.8243</u>	<u>0.8528</u>

A fototermikus index és a fázisstartam közötti nagyon jó összefüggés ösztönzőleg hatott, hogy megvizsgáljuk: vajon leírható-e egyetlen függvénnyel adott helyen a fototermikus index fázisstartamra gyakorolt hatása a vegetációs periódus egészében. A korai éréscsoport 7, valamint a középkorai éréscsoport 9 fenológiai

állomásának adatain vizsgáltuk ezt. Mind a 16 vizsgálat azt mutatta, hogy *a fototermikus index alapvetően meghatározza a kukorica fejlődését az egész vegetációs periódusban, s ez az összefüggés egyetlen hatványfüggvénnyel leírható. Az összefüggések determinációs együtthatója (r^2 -értéke) 0,9384 és 0,9806 között volt*



található, ami azt jelenti, hogy a fototermikus index földrajzi helytől függően 94-98 %-ban meghatározza a fázisstartam alakulását. A két éréscsoport 16 fenológiai állomásának mindegyik fenológiai fázisra vonatkozó adatait egyetlen függvényben egyesítettük. Az így kapott pontthalmazt, az arra illesztett hatványfüggvényt, a görbe egyenletét és az r-értéket a 3.17 ábra mutatja. Az ábra bizonyossága szerint a fototermikus index éréscsoporttól függetlenül alapvetően meghatározza a kukorica fejlődését az egész vegetációs periódusban az ország egész területén.

3.17 ábra. A fototermikus index hatása a kukorica fenofázisainak tartamára (mindkét éréscsoport összes állomásának adatait figyelembe véve)

A meteorológiai tényezők és a kukorica fejlődése közötti kapcsolatot érintő elemzések közül utolsóként a különböző hőmérsékleti értékek hatását hasonlítottuk össze. Eddigi vizsgálataink ugyanis azt mutatták, hogy a hőmérséklet önmagában is

erőteljesen befolyásolja a kukorica fejlődését. Megvizsgáltuk, hogy a minimum-, átlag- és maximum hőmérséklet mutat-e különbséget a fejlődési ütemre gyakorolt hatás szempontjából. A vizsgálatba bevontuk a *fotohőmérsékletet*, mely a nappali időszakot jellemző hőmérsékleti érték, a *niktohőmérsékletet*, mely az éjszakai időszak hőmérséklete, valamint e kettő együttes hatását is elemeztük. A vizsgálatot a két éréscsoport - az ország területét lefedő - 3-3 állomásának 1966-85-ös adatai alapján végeztük. E vizsgálatok r-értékeit a 3.25 táblázat szemlélteti. Ez alapján azt mondhatjuk, hogy *nincs lényeges különbség a vizsgált hőmérsékleti paraméterek között fejlődésre gyakorolt hatásuk alapján*. Adott fenológiai állomás ugyanazon fenológiai szakaszának fejlődési ütemére gyakorolt hatás alapján a legkülönbözőbb sorrendek alakultak ki (eltekintve attól, hogy mindig az utolsó oszlop adja a legmagasabb értéket, de ez várható volt, hiszen - a többitől eltérően - ez két tényező együttes hatását mutatja), s bármi legyen is a sorrend, az esetek többségében erős szignifikanciát jelző, magas r-értékek sorakoznak egymás mellett, melyeknek bármelyike jól használható a fejlődéssel való kapcsolat vizsgálatára.

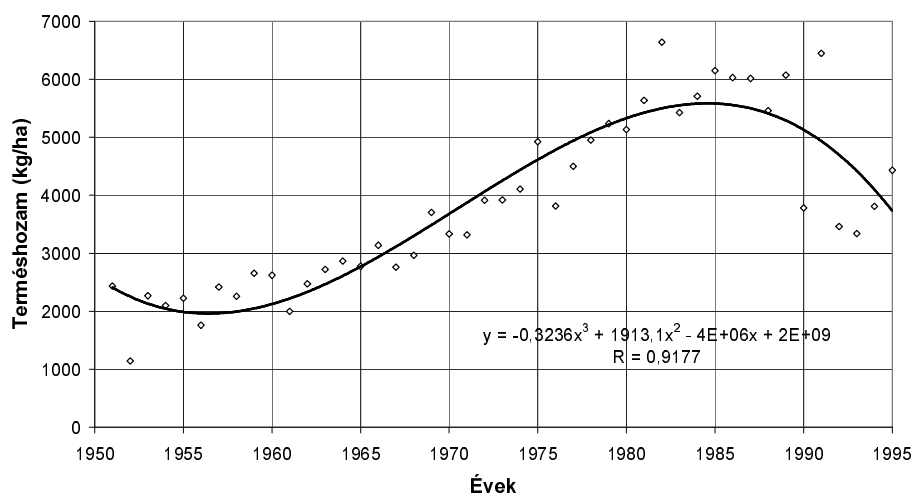
3.25 táblázat. Különböző hőmérsékletek hatása a fejlődési ütemre (1966-85; másodfokú összefüggések r értékei)

éréscs.	állomás	fenofázis	Tmin	Tnycto	Tátl	Tfoto	Tmax	Tn+Tf
300	Szombathely	1.	0.5330	0.7150	<u>0.8427</u>	<u>0.8681</u>	<u>0.8619</u>	<u>0.8782</u>
		2.	0.6558	0.6903	<u>0.6323</u>	0.6756	0.6917	0.7860
		3.	<u>0.8101</u>	<u>0.8395</u>	<u>0.8653</u>	<u>0.8366</u>	<u>0.8334</u>	<u>0.8806</u>
	Debrecen	1.	0.6481	<u>0.7515</u>	<u>0.8146</u>	<u>0.8163</u>	<u>0.8160</u>	0.8190
		2.	<u>0.5847</u>	<u>0.6116</u>	<u>0.5611</u>	<u>0.6080</u>	<u>0.5830</u>	0.6459
		3.	<u>0.9074</u>	<u>0.9160</u>	<u>0.8795</u>	<u>0.8990</u>	<u>0.8810</u>	<u>0.9163</u>
	Székkutas	1.	0.6603	<u>0.7744</u>	<u>0.9083</u>	<u>0.9060</u>	<u>0.9255</u>	<u>0.9311</u>
		2.	<u>0.1985</u>	<u>0.3486</u>	0.5189	0.5246	0.5350	<u>0.5443</u>
		3.	0.7248	<u>0.6298</u>	<u>0.5688</u>	0.5354	0.5070	0.7903
400	Iregszemcse	1.	<u>0.8389</u>	<u>0.8627</u>	<u>0.8989</u>	<u>0.9131</u>	<u>0.9056</u>	<u>0.9210</u>
		2.	<u>0.5998</u>	<u>0.6393</u>	0.6710	0.6598	0.6821	0.7756
		3.	<u>0.8648</u>	<u>0.8884</u>	<u>0.9024</u>	<u>0.8914</u>	<u>0.8824</u>	<u>0.9047</u>
	Debrecen	1.	<u>0.7888</u>	<u>0.7720</u>	0.7267	0.7216	0.6981	0.8166
		2.	<u>0.5638</u>	0.6927	<u>0.7838</u>	<u>0.8059</u>	<u>0.8044</u>	0.8161
		3.	<u>0.8628</u>	<u>0.8531</u>	<u>0.8549</u>	<u>0.8084</u>	<u>0.7853</u>	<u>0.8715</u>
	Székkutas	1.	0.7031	<u>0.8251</u>	<u>0.9456</u>	<u>0.9410</u>	<u>0.9604</u>	<u>0.9677</u>

		2.	0.4893	<u>0.5934</u>	0.6716	0.7349	0.7366	0.7610
		3.	0.7079	0.7377	<u>0.7740</u>	<u>0.7749</u>	<u>0.7780</u>	0.8115

3.4. A METEOROLÓGIAI TÉNYEZŐK HATÁSA A KUKORICA PRODUKTIVITÁSÁRA

A növénytermesztés mint tudatos emberi tevékenység célja: az emberi szükségleteket kielégítő növényi produktum előállítása. Az eddigiekben vizsgáltuk egy adott terület meteorológiai viszonyainak a növény mennyiségi és minőségi változásaira, azaz a növekedésre és fejlődésre gyakorolt hatását, végső soron azonban az ezen folyamatok eredményeként létrejövő termés, s az erre gyakorolt hatások vizsgálata tűnik a gyakorlat által leginkább igényelt megközelítésnek.



3.18 ábra. Az országos kukorica termésátlag alakulása (1951-95)

A kukorica a vetéstől a betakarításig terjedő időszakban ki van téve a meteorológiai viszonyok hatásának. Ebből a döntő időszak természetesen a vetés és érés közötti tenyészidőszak. Ezen időszak meteorológiai viszonyai évről-évre változnak ezért a terméshozamok is évről-évre ingadoznak (3.18. ábra). Amint az Anyag és módszer fejezetben bemutattuk, ezek az ingadozások a vegetációs periódus alatti meteorológiai hatások következményeként jelentkeznek. A kérdés az, hogyan vegyük figyelembe e hatásokat? Kétféle utat követtünk:

- a) egyrészt elemeztük a teljes vegetációs periódus meteorológiai viszonyainak, illetve egyes fontosabb elemeinek a hatását,
- b) másrészt a vegetációs periódust hónapokra osztva havi bontásban végeztük a hatás elemzését.

Mindkét elemzésformának az a legnagyobb előnye, hogy elvégezhető havi adatokkal, amelyek rendelkezésre állnak minden meteorológiai állomáson. Célszerű az elemzéshez a tényezőket is úgy kiválasztani, hogy azok az állomásokon mért adatokkal vagy a belőlük számítható értékekkel jellemezhetők legyenek.

A gazdálkodás eredményességét megjelenítő termékek a beépített szerves anyag mennyiségét jelentik, ami a két alapvető növényi életfolyamat következtében realizálódik (*Varga-Haszonits et al.* 1994). A fotoszintézis folyamatában a növény széndioxidból és vízből a nap sugárzási energiájának felhasználásával szerves anyagot állít elő, míg a légzés ezzel ellentétes folyamat, mely a növény életműködéséhez szükséges energiát biztosítja. A meteorológiai tényezők közül a sugárzás és a víz jelentősége kiemelkedő a produktivitásra (minthogy az említett két alapvető folyamatban még szerepet kapó légköri CO₂- és O₂-szint kevésbé változékony), valamint a hőmérsékleté, minthogy a növényekben zajló enzimatikus folyamatok erőteljesen hőmérsékletfüggők, ezért ezeknek a növények számára alapvető fontosságú (*Pethő* 1993) tényezőknek a hatását elemeztük.

E fejezet összeállításakor az e tárgyban végzett korábbi munkáink (*Varga-Haszonits et al.* 1997, 1998b, 1999b, *Varga* 1996, 1997, 1998, *Varga et al.* 2001) eredményeit is felhasználtuk.

3.4.1 Teljes vegetációs periódusra vonatkozó elemzés

A teljes vegetációs periódusra vonatkozóan is kétféle elemzést végeztünk el. Az egyik elemzés a meteorológiai hatásokat együttes megjelenésükben vizsgálta, anélkül, hogy elemekre bontotta volna. A másik vizsgálat arra irányult, hogy meghatározzuk, milyen mértékben hasznosult a sugárzás és a víz a korábban használt, hagyományos és az intenzív hibridek alkalmazása esetén.

Mint ahogy a termések alakulására a meteorológiai viszonyok mellett sok tényező hat, első lépésben szükséges volt olyan módszert kidolgozni, melynek segítségével számszerűsíthetővé válik a meteorológiai hatás. Ennek elvi menetét az Anyag és módszer fejezetben már ismertettük, az ehhez kapcsolódó 3.18 ábra pedig az országos kukorica termésátlagok alakulását szemlélteti az 1951-95-ös időszakban. Látható, hogy a vizsgált időszak nagyobb részében, az 1980-as évek végéig az agrotechnika egyre emelkedő szintje egyre kedvezőbb feltételeket kínált a kukoricatermesztés számára, míg az 1990-es évek elején e tendencia megváltozott. Ez adott a trendfüggvénynek egy bonyolultabb, harmadfokú formát. Az ábrán a pontok trendgörbéhez viszonyított elhelyezkedése mutatja az adott év meteorológiai hatásának kedvező vagy kedvezőtlen voltát.

Komplex meteorológiai hatás: Amint a 3.18 ábrán látható, a termés két alapvető összetevője a lassúbb változásokat tükröző trend, amely a fajta, a műtrágyázás, a növényvédelem stb. együttes hatását fejezi ki. Nevezzük ezt röviden agrotechnikai hatásnak. A másik összetevő pedig a meteorológiai hatás, amely a trendértékek körüli ingadozás meghatározásával adható meg. Amint korábban bemutattuk, ennek számszerű meghatározását jelenti a trendarány, amely a tényleges terméshozam és a trendérték hányadosaként állítható elő.

A növényekre gyakorolt hatást a terméshozamok adatai alapján határoztuk meg, mégpedig oly módon, hogy képeztük a trendarányokat (TRA). A trendarány a meteorológiai hatások együttesét fejezi ki, ezért komplex meteorológiai hatásindexnek (KMHI) is nevezhetjük. Ebben a formában magába foglalja természetesen a véletlen jellegű hatásokat is, amelyek lényegében csak kisebb mértékben módosítják a kapott

értékeket. Az indexértékeket minden megyére kiszámítottuk. A kapott eredményeket a 3.26 táblázat mutatja.

Az 1-nél magasabb értékek azt mutatják, hogy az időjárás hatása kedvező, vagyis terménynövelő volt. Az 1-nél kisebb értékek kedvezőtlen, terméscsökkentő időjárási hatásokat jelentenek. Az 1-es értékek lényegében az agrotechnikai szintnek megfelelő hatást jelentik, vagyis az időjárás se nem növelte, se nem csökkentette a hozamokat. Az TRA-1 ($1 < TRA$ esetén) tehát számszerűen azt mutatja meg, hogy az időjárás milyen mértékben növelte a terméshozamot, az 1-TRA ($TRA < 1$ esetén) pedig azt, hogy számszerűen milyen mértékben csökkentette.

3.26 táblázat. A kukorica trendarányok évenkénti értékei, 45 éves szélső értékei és gyakorisági eloszlása megyénként (1951-95)

	GyMS	Vas	Zala	Somo	Vesz	KomE	Feiér	Tolna	Bara	BácsK	Pest	JNSz	Csong	Békés	HaBi	SzSzB	BAZ	Heves	Nógrád
1951	0.89	0.87	0.96	1.02	0.87	1.00	1.03	1.07	1.18	1.20	1.07	0.98	1.22	1.08	1.22	0.75	0.92	1.10	1.21
1952	0.59	0.53	0.58	0.48	0.51	0.49	0.62	0.58	0.43	0.53	0.50	0.45	0.36	0.46	0.36	0.52	0.45	0.49	0.59
1953	1.14	1.08	0.90	1.13	1.21	1.12	1.05	1.11	1.01	1.09	1.04	0.87	1.08	1.04	1.08	1.17	1.14	0.94	1.05
1954	0.97	1.03	1.10	1.07	0.99	1.10	1.08	1.01	0.98	1.12	1.08	1.23	1.04	1.02	1.04	1.00	1.02	0.88	0.82
1955	0.94	1.04	1.10	1.09	1.00	1.08	1.13	1.10	1.10	1.08	1.12	1.20	1.18	1.17	1.18	1.17	1.20	1.08	1.07
1956	1.07	1.05	0.84	1.03	0.98	0.94	1.02	0.87	0.86	0.91	0.84	0.82	0.90	0.83	0.90	0.98	0.83	0.74	0.59
1957	1.18	1.19	1.18	1.16	1.29	1.29	1.21	1.20	1.20	1.20	1.26	1.19	1.24	1.14	1.24	1.36	1.31	1.26	1.27
1958	1.21	1.26	1.31	1.11	1.15	1.18	0.98	1.13	1.01	1.02	1.20	1.01	0.95	0.96	0.95	1.21	1.41	1.17	1.25
1959	1.30	1.42	1.38	1.02	1.28	1.14	1.04	1.10	1.27	1.06	1.33	1.44	1.27	1.30	1.27	1.43	1.50	1.64	1.40
1960	1.42	1.51	1.37	1.25	1.35	1.27	1.22	1.10	1.20	0.95	1.08	1.21	0.74	1.07	0.74	1.30	1.41	1.40	1.43
1961	0.93	1.02	1.04	0.89	0.81	0.85	0.84	0.78	0.82	0.74	0.88	1.15	0.98	1.13	0.98	0.81	0.68	0.94	0.81
1962	1.08	1.10	1.20	1.19	1.20	0.93	0.93	1.24	1.28	1.01	0.87	0.92	1.07	1.20	1.07	1.17	1.03	0.97	0.82
1963	1.03	0.99	0.85	0.98	1.07	1.27	1.13	0.98	1.08	1.00	1.19	1.24	1.12	1.15	1.12	1.10	1.05	1.34	1.23
1964	0.99	1.13	1.11	1.16	1.12	0.97	1.08	1.15	1.16	1.12	1.10	1.08	1.18	1.13	1.18	0.98	1.08	1.26	1.01
1965	0.85	0.77	0.80	1.03	0.98	0.90	1.04	1.07	1.03	1.09	1.04	1.06	1.18	1.16	1.18	1.03	1.00	0.96	0.89
1966	1.15	1.20	1.22	1.05	1.13	1.03	1.05	1.00	1.02	1.09	1.04	1.02	1.07	1.03	1.07	1.16	1.07	0.99	1.04
1967	0.93	0.80	0.89	0.93	0.95	0.91	0.89	0.92	0.91	0.98	0.88	0.84	0.95	0.83	0.95	0.90	0.81	0.78	0.77
1968	1.00	1.07	0.96	0.86	0.83	0.95	0.85	0.87	0.90	0.90	0.82	0.76	0.90	0.86	0.90	1.04	0.90	0.73	0.97
1969	1.00	0.92	1.01	1.06	1.01	1.04	1.09	1.10	1.09	1.01	1.07	1.18	1.05	1.08	1.05	1.04	1.06	1.07	1.16
1970	0.93	0.97	0.94	0.94	0.92	0.98	0.95	0.90	0.96	0.92	0.91	0.90	0.84	0.78	0.84	0.86	0.81	0.85	1.01
1971	0.87	0.84	0.80	0.81	0.84	0.95	0.92	0.87	0.87	0.92	0.86	0.89	0.87	0.97	0.87	0.90	0.81	0.78	0.94
1972	0.93	0.92	0.89	0.91	0.91	1.00	0.96	0.96	0.89	1.01	0.99	0.95	1.01	0.96	1.01	0.95	1.01	1.02	1.19
1973	0.83	0.84	0.91	0.92	0.87	0.94	0.93	0.98	0.88	0.92	0.88	0.99	0.93	0.97	0.93	0.96	0.99	0.87	0.91
1974	0.89	0.85	0.84	0.91	0.88	0.88	0.93	0.92	0.96	1.01	0.81	1.00	1.00	0.98	1.00	0.86	0.88	1.00	0.89
1975	1.12	1.04	0.97	1.04	1.02	1.11	1.15	1.07	0.99	1.14	1.22	1.08	0.89	0.96	0.89	1.03	1.11	1.07	1.17
1976	0.77	0.80	0.83	0.82	0.77	0.81	0.79	0.74	0.78	0.88	0.81	0.71	0.90	0.74	0.90	0.73	0.83	0.85	0.89
1977	0.89	0.90	0.88	0.97	0.83	0.83	0.92	1.00	0.99	1.01	0.95	0.90	0.97	0.93	0.97	0.82	0.73	0.86	0.87
1978	0.86	0.94	0.98	1.00	1.02	0.88	1.02	1.02	0.97	1.07	1.10	1.08	1.03	0.99	1.03	0.77	0.83	0.96	0.93
1979	1.02	0.98	0.95	1.01	1.06	0.96	0.97	1.04	0.95	1.02	1.04	0.98	1.06	1.03	1.06	0.99	0.97	1.07	0.95
1980	1.04	0.89	0.93	0.92	1.00	1.03	1.02	0.99	0.93	0.94	1.06	1.05	1.00	1.02	1.00	0.72	0.87	0.99	0.85
1981	1.00	0.99	0.99	1.00	0.99	1.11	1.10	1.03	1.00	0.98	1.12	1.05	1.08	1.12	1.08	1.02	1.12	1.03	0.94
1982	1.29	1.28	1.31	1.31	1.31	1.19	1.23	1.21	1.22	1.21	1.21	1.07	1.24	1.21	1.24	1.16	1.27	1.03	1.01
1983	0.99	0.93	0.95	0.98	0.97	0.95	0.95	1.07	1.15	0.97	0.88	0.75	0.76	0.97	0.76	1.07	1.13	1.02	1.00
1984	1.06	1.18	1.19	1.17	1.10	1.09	1.00	1.03	1.23	0.85	0.76	0.68	0.88	0.87	0.88	1.21	1.14	0.88	0.97
1985	1.22	1.10	1.09	1.14	1.15	1.18	1.19	1.09	1.08	1.01	1.11	1.04	0.99	1.01	0.99	1.06	1.12	1.12	1.18
1986	1.04	1.11	1.10	1.01	1.00	1.11	0.97	1.05	1.15	1.11	0.97	1.08	1.17	1.18	1.17	1.23	1.04	1.07	1.14
1987	1.19	1.13	1.15	1.11	1.09	1.24	1.24	1.18	1.03	1.17	1.24	1.06	1.12	0.94	1.12	1.00	0.89	0.87	1.19
1988	1.02	1.09	1.02	0.85	1.03	0.99	0.81	0.81	0.79	0.85	1.04	1.28	0.92	0.91	0.92	1.33	1.24	1.23	1.14
1989	1.06	1.08	1.04	1.07	1.09	1.08	1.09	1.02	1.02	1.03	1.24	1.43	1.06	1.23	1.06	1.19	1.17	1.58	1.33
1990	0.68	0.89	0.91	0.71	0.76	0.47	0.40	0.60	0.69	0.70	0.50	1.04	0.85	0.96	0.85	0.96	0.73	0.75	0.63
1991	1.12	1.20	1.19	1.29	1.27	1.12	1.37	1.29	1.23	1.39	1.48	1.52	1.46	1.45	1.46	1.25	1.31	1.51	1.29
1992	0.72	0.60	0.71	0.76	0.73	0.74	0.85	0.80	0.85	0.78	0.70	0.78	0.85	0.72	0.85	0.69	0.67	0.63	0.62
1993	0.85	0.89	0.78	0.77	0.76	0.69	0.73	0.83	0.84	0.82	0.58	0.56	0.79	0.74	0.79	0.69	0.75	0.53	0.61
1994	1.01	0.99	0.99	1.02	1.11	1.15	0.97	1.04	0.94	0.98	0.94	0.71	0.98	0.80	0.98	0.61	0.78	0.74	0.92
1995	1.16	1.04	1.10	1.19	1.03	1.33	1.39	1.22	1.22	1.23	1.38	0.98	0.99	1.12	0.99	1.24	1.26	1.23	1.33
Max.	1.42	1.51	1.38	1.31	1.35	1.33	1.39	1.29	1.28	1.39	1.48	1.52	1.46	1.45	1.46	1.43	1.50	1.64	1.43
Min.	0.59	0.53	0.58	0.48	0.51	0.47	0.40	0.58	0.43	0.53	0.50	0.45	0.36	0.46	0.36	0.52	0.45	0.49	0.59
1.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1.6	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	1	1	1	1	3	2	2
1.4	4	3	6	3	6	5	6	4	6	4	8	4	4	3	4	8	5	6	7
1.2	18	18	14	24	19	19	17	22	17	21	16	18	18	19	18	16	16	13	14
1	18	19	22	14	15	17	18	14	18	16	15	12	18	17	18	12	14	14	15
0.8	3	1	2	3	4	2	3	3	3	3	2	6	3	4	3	7	6	7	5
0.6	1	2	1	1	1	2	1	2	1	1	3	2	0	1	0	1	1	2	2
0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

A táblázatból látható, hogy az időjárás okozta megyénkénti legnagyobb termésnövelés értékei 28% és 64% között mozognak, ami jelentős ingadozást jelent. Az 1951-1995 időszakban 5 olyan évet (1957, 1959, 1982, 1989, 1991) lehet találni, amikor minden megyében kedvező volt az időjárási hatás (a kövérrel szedett számok). Voltak olyan évek is (pl. 1960, 1995), amikor a legtöbb megyében az agrotechnikai szinthez képest jelentős terméstöbblet mutatkozott, s csak néhány megyében nem tapasztalhattunk pozitív hatást.

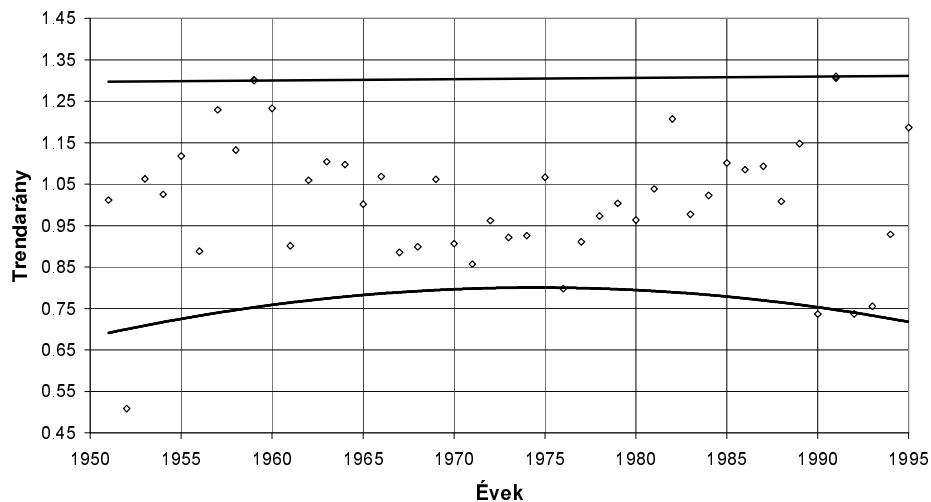
A kedvezőtlen meteorológiai hatások 41% és 64% között változtak. A kedvezőtlen hatások tehát nagyobb intenzitásúaknak tűnnek. Emellett 8 olyan évet (1952, 1967, 1971, 1973, 1976, 1990, 1992, 1993) is találtunk, amelyben minden megyében kedvezőtlen volt az időjárási hatás (kövéren szedett, dőlt betűk), vagyis a kedvezőtlen hatások nagyobb számban fordultak elő. Ezenkívül voltak olyan évek is (pl. 1961, 1970, 1977), amikor a megyék túlnyomó többségében kedvezőtlen hatások domináltak, de egy-két megyében kedvező hatás érvényesült.

A táblázat legalján lévő gyakorisági értékekből kiolvasható, hogy a 0,8 és 1,2 trendarányok közötti értékek az esetek 76-84%-ában fordulnak elő, vagyis a $\pm 20\%$ -nál nagyobb ingadozások az összes eset 16-24%-ában fordulnak elő. Tehát megközelítőleg minden ötödik évben várható, hogy az időjárás akár pozitív, akár negatív irányban az agrotechnikai szinthez képest 20%-nál nagyobb termésváltozást idéz elő.

A táblázatból az is kiolvasható, hogy hány egymásutáni évben számíthatunk az agrotechnikai szintnél magasabb, s hány egymásutáni évben alacsonyabb hozamokra. Az egyik legérdekesebb megye ebből a szempontból Békés, ahol 8 egymásutáni évben (1959-1966) is előfordult agrotechnikai szint feletti hozam, s egymásután 9 évben (1967-1978) pedig az agrotechnikai szintnél alacsonyabb hozam. Országos átlagok alapján az 1984 és 1989 közötti 6 egymásutáni évben volt agrotechnikai szint feletti, s az 1976 és 1980 közötti 5 évben pedig az agrotechnikai szint alatti hozam.

A 3.19. ábra szerint, mely az országos trendarányok időbeli alakulását mutatja be, az éghajlati hatások (az extrém és bizonyos szempontból más tényezőknek tulajdonítható 1950-es évek elejét figyelmen kívül hagyva) a kukorica termését -30 és +30 % közötti mértékben módosították, azaz 30 %-os terméscsökkenéstől 30 %-os

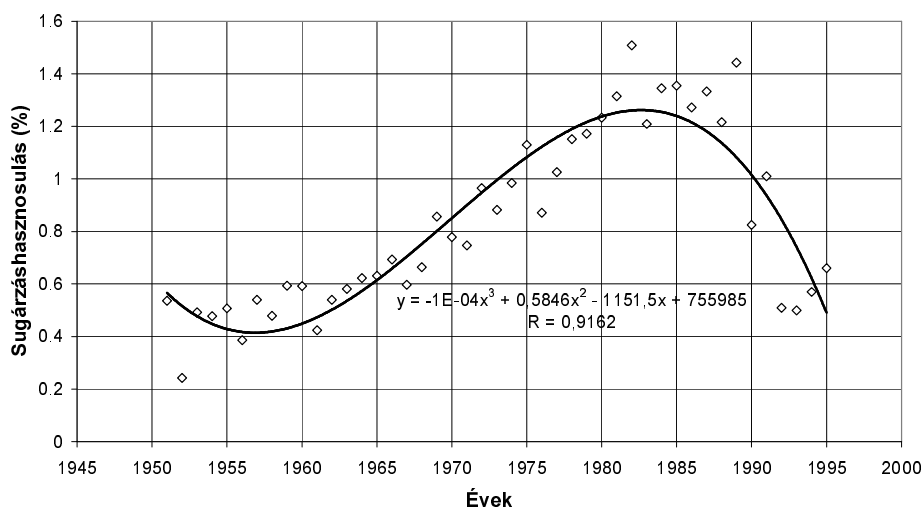
termésnövekedésig terjedő hatásuk volt. A trendarányok viszonylag kiegyenlített időbeli alakulása bizonyítja, hogy az Anyag és módszer fejezetben említett trendeltéréssel szembeni használatuk indokolt a kukorica esetén. A 40 évből 20-ban a meteorológiai tényezők hatása nem haladja meg a ± 5 %-ot, az esetek 80 %-ában pedig a ± 15 %-ot. Mindez a kukoricatermesztés számára előnyös, szélsőségektől mentes éghajlati feltételrendszerről ad képet, azaz megfelelő agrotechnika mellett kiszámítható, magas terméshozamokkal jellemzett gazdálkodás folytatható.



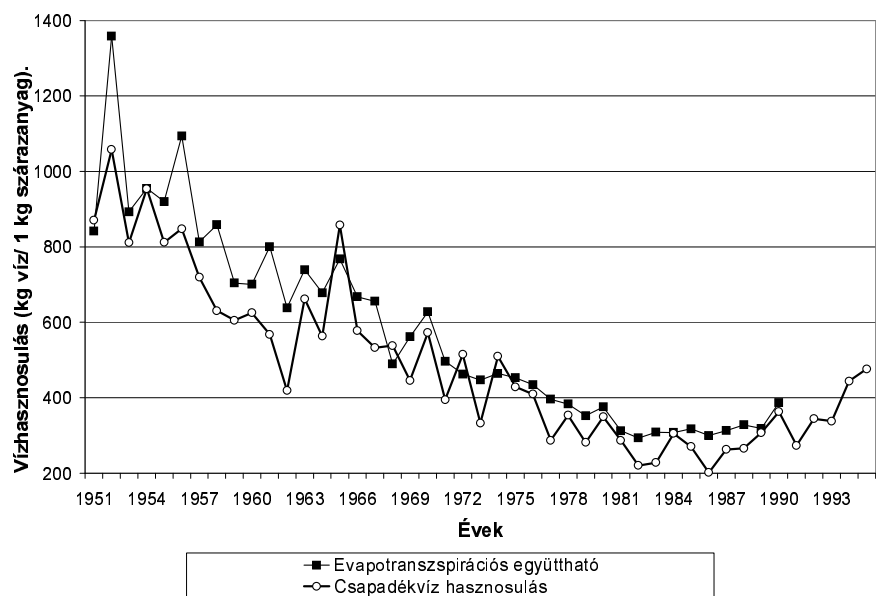
3.19 ábra. A kukoricatermés trendarányai országosan (1951-95)

Sugárzáshasznosulás: A 3.20. ábrán a kukorica sugárzáshasznosulásának országos átlagai láthatók az 1951-95-ös időszakban. A 3.18. ábrának megfelelő alakulás azt jelzi, hogy a terméshozamok növekedésében fontos szerepet játszott a beérkező fotoszintetikusán aktív sugárzás jobb hasznosítása. Míg az 1950-es években termesztett fajták a beérkező fotoszintetikusán aktív sugárzás kb. fél százalékát építették be biomasszájukba, addig a 80-as évek második felének intenzív hibridjeinek sugárzáshasznosítása ennek csaknem háromszorosa. A 90-es évek elejére jellemző alacsonyabb értékek arra hívják fel a figyelmet, hogy ha az intenzív hibridek számára

nem biztosítanak megfelelő termesztési körülményeket, a sugárzáshasznosítás (s ennek következtében a termés) erősen visszaeshet.



3.20 ábra. A kukorica sugárzáshasznosulása országosan (1951-95)



3.21 ábra. A kukorica vízhasznosulásának alakulása országosan (1951-95)

Vízhasznosulás: A 3.21 ábrán feltüntetett két vízhasznosulási együttható, az egységnyi szerves anyag előállításához szükséges csapadékmennyiséget jelentő csapadékvíz hasznosulás, illetőleg az 1 kg biomassa beépítéséhez szükséges elpárologtatott vízmennyiséget kifejező evapotranszspirációs együttható csökkenő alakulása azt mutatja, hogy a termésnövekedés másik oka az egyre hatékonyabb vízfelhasználás. A korszerű hibridek – szemben a hagyományos fajták 1000 körüli értékeivel – 200-300 l víz felhasználásával képesek 1 kg biomasszát létrehozni. A nem optimális agrotechnika a rendelkezésre álló víz hasznosulását is rontja.

3.27 táblázat. A víz- és sugárzáshasznosulás átlagos és szélsőséges alakulása Magyarország megyéiben (1951-95)

	Evapotranszp. együttható*			Csapadékvíz hasznosulás			Sugárzás-hasznosulás		
	max.	átlag	min.	max.	átlag	min.	max.	átlag	min.
Győr-M.-S.	1146	538	234	976	426	180	1.75	0.89	0.31
Vas	1189	572	239	1562	530	234	1.78	0.92	0.32
Zala	1109	591	300	1388	604	278	1.60	0.85	0.33
Somogy	1529	605	228	1333	577	233	1.66	0.85	0.23
Veszprém	1639	629	276	1325	559	246	1.51	0.77	0.23
Komárom-E.	1481	563	240	1134	471	179	1.75	0.92	0.23
Fejér	1048	502	216	950	404	133	1.70	0.90	0.31
Tolna	1222	513	212	964	445	131	1.87	1.02	0.29
Baranya	1582	572	227	1457	475	169	1.76	0.92	0.19
Bács-Kiskun	1065	545	214	1000	437	135	1.40	0.76	0.21
Pest	1210	574	259	877	466	189	1.38	0.75	0.23
Jász-N.-Szolnok	1782	555	237	1253	432	190	1.69	0.81	0.20
Csongrád	1320	525	246	1138	417	152	1.50	0.81	0.16
Békés	1506	527	224	1158	423	173	1.69	0.91	0.23
Hajdú-Bihar	1325	517	220	1102	439	131	1.79	0.92	0.21
Szabolcs-Sz.-B.	1202	648	263	1244	553	166	1.38	0.69	0.23
Borsod-A.-Z.	1567	689	276	1194	589	184	1.34	0.74	0.24
Heves	1429	657	290	1334	532	156	1.60	0.72	0.23
Nógrád	1528	702	334	1295	588	174	1.25	0.67	0.25
Orsz.átl.	1359	580	293	1058	493	201	1.51	0.83	0.24

*az evaporációs együtthatót az 1951-90-es időszakra vonatkozóan vizsgáltuk

A 3.27 táblázat e három, a terméshozamok alakulásában nagy szerepet játszó index átlagos és szélső értékeinek területi eloszlását mutatja be. Mindenekelőtt a víz- és sugárzáshasznosulás jelentős javulása figyelhető meg, hiszen a minimum és maximum értékek - amint ezt az ábrákon láthattuk - a vizsgált időszak kezdetéhez és végéhez köthetők. A táblázat adatai alapján e javulás földrajzi elhelyezkedéstől független. Kisebb eltérésekkel az ország minden területére jellemző a sugárzáshasznosulás országos átlagban kb. hatszoros, a vízhasznosulás kb. ötszörös javulása. A 40 éves átlagokat tekintve szigorúan elhatárolható területi különbségek nincsenek, de tendencia, hogy az észak-magyarországi területek sugárzás- és vízhasznosulása elmarad az országos átlagtól, az alföldi megyéké pedig meghaladja ezt. A Dunántúl területén a növények átlag feletti mértékben hasznosítják a leérkező viszonylag csekélyebb sugárzást, a vízhasznosulás pedig változatosan alakul attól függően, hogy az adott megye mely együttthatójának milyen (átlagos vagy szélső) értékét hasonlítjuk az országos átlaghoz. Zala, Somogy és Veszprém általában átlag alatti, Győr-Moson-Sopron, Fejér és Tolna megyék értékei pedig átlag feletti.

Fázistartam-termés kapcsolat: Vizsgáltuk a különböző fázistartamok, a kukorica egyes fejlődési szakaszainak hossza és a termés közötti kapcsolatot is. Elemeztük, hogy a kezdeti fejlődés (vetés - kelés), a vegetatív szakasz (kelés - címerhányás), illetve a generatív (címerhányás - érés) időszak hossza milyen mértékben befolyásolja a keletkező produktum nagyságát. Ehhez a fejlődéssel kapcsolatos fejezetben már ismertetett 1960-85 közötti különböző hosszúságú és korai és középkorai csoportra vonatkozó fázistartam adatokat használtuk, s ezekhez rendeltük hozzá a megfelelő évek termésadatait. Emellett vizsgáltuk az ezen 3 szakasz összegeként adódó teljes vegetációs periódus, a 10 °C feletti hőmérsékletileg lehetséges vegetációs periódus hosszának hatását, valamint azt is, hogy hogyan befolyásolja a produktivitást az, hogy a tényleges vegetációs periódus milyen mértékben használja ki az elvileg lehetséges maximális fejlődési időszakot, a hőmérsékletileg lehetséges vegetációs periódust. Az eredményeket a 3.28 táblázat mutatja be. Ami első pillantásra szembeűnő, hogy a középkorai csoport valamelyest hosszabb tartamai jobban befolyásolják a termést, mint a korai éréscsoport rövidebb, kevésbé szóródó fázishosszai. Ez utóbbi esetben a gyenge

szignifikanciájú eredmények nem is nagyon mutatnak semmilyen tendenciát. Ellenben a középkorai hibrideknél a generatív szakasz hosszának hatása egyértelműen meghaladja a másik két szakaszét, nem egy esetben 1 %-os szinten is szignifikáns korrelációs együtthatóval, s a tényleges és hőmérsékletileg lehetséges vegetációs periódus hossza és kombinációik is jó összefüggést mutatnak a kukorica produktivitásával. ***Leginkább az határozta meg a létrejövő produktum nagyságát, hogy a tényleges vegetációs periódus milyen mértékben használta ki a rendelkezésre álló időszakot.***

3.28 táblázat. Fenofázisok illetve különböző vegetációs periódusok hosszának hatása a termésre (másodfokú összefüggés r-értéke; 1960-85 közötti időszakok)

FAO300	1. fázis	2. fázis	3. fázis	TVP	HLVP ₁₀	HLVP ₁₀ - TVP	HLVP ₁₀ / TVP
	hossza						
Abaújszántó	0.4876	0.3158	0.3480	0.4456	0.3127	0.4219	0.4256
Debrecen	0.2186	0.6213	0.2898	0.3341	0.3704	0.3851	0.3658
Iregszemcse	0.1063	0.3341	0.3838	0.3376	0.4549	0.4037	0.3910
Kompolt	0.0490	0.2700	0.1741	0.1393	0.5749	0.5280	0.5137
Székkutas	0.5473	0.6125	0.2608	0.3557	0.3111	0.3651	0.3607
Szombathely	0.5379	0.2837	0.4141	0.5174	0.2689	0.4755	0.4954
Tordas	0.3785	0.2883	0.1738	0.2532	0.5356	0.4164	0.4208
FAO400							
Debrecen	0.4969	0.2782	0.7942	0.6730	0.4899	0.7230	0.7271
Iregszemcse	0.2062	0.1797	0.6416	0.5502	0.5892	0.6567	0.6390
Kaposvár	0.3114	0.0648	0.4908	0.4362	0.5255	0.5487	0.5372
Karcag	0.1253	0.4553	0.4121	0.7096	0.6175	0.5499	0.5562
Mátételke	0.1936	0.3480	0.4527	0.3311	0.6608	0.5898	0.5108
Székkutas	0.5660	0.0592	0.4836	0.5045	0.5320	0.5980	0.6025
Szombathely	0.2232	0.3028	0.6946	0.6687	0.5382	0.6915	0.6908
Szarvas	0.1729	0.4480	0.4830	0.4465	0.6843	0.6376	0.6037
Tordas	0.1100	0.0300	0.6004	0.5114	0.5882	0.6398	0.6350

3.4.2 Havi elemértékek alapján történő terméselemzés

Változatlan éghajlati viszonyok mellett azt várjuk, hogy hasonló erősségű meteorológiai hatások hasonló nagyságú termésingadozásokat váltanak ki. Ha ez igaz, akkor additív jellegű hatásokról beszélhetünk, mivel a meteorológiai hatások az

agrotechnikai hatásokat egy meghatározott mennyiséggel növelik vagy csökkentik, ezért a meteorológiai hatásokat a trendtől vett eltérésekkel (trendanomáliákkal) adjuk meg. Láttuk azonban a 3.18. ábrán, hogy bár éghajlatunk nem változott, a termésingadozások megnövekedtek. Ilyen esetben a meteorológiai hatások az agrotechnikai hatások valamilyen arányában növelik vagy csökkentik a hozamokat, ezért a meteorológiai hatásokat a tényleges termés és a trendérték arányával (trendaránnal) fejezzük ki. Hazánkban – a 3.18 ábra tanúsága szerint – tehát a trendarányokkal célszerű jellemezni a meteorológiai hatásokat.

A meteorológiai hatások egy adott évben tehát a (2.4) összefüggés alapján határozhatók meg. Az összefüggésből az $Y(t)$ és az $Y_0(t)$ ismertek, ezért csupán a meteorológiai tényezők értékét kell megadni. Mivel a meteorológiai elemek értékeit folyamatosan mérik az ország több helyén, ezért csupán azt kell megmondanunk, hogy mely elem, mely időszakra vonatkozó értékeiről van szó.

Tudjuk azt, hogy a zöld növények, köztük a kukorica számára mindenekelőtt napsugárzásra van szükség, mert ez szolgáltatja a fotoszintézishez szükséges energiát. A víz is nélkülözhetetlen a fotoszintézishez, emellett még benne feloldódva kerülnek a tápanyagok is a talajból a növényekbe. A növényekben lejátszódó biokémiai reakciók sebessége pedig a hőmérséklet függvénye. Ily módon három meteorológiai elem: a fotoszintetikusan aktív sugárzás, a hőmérséklet és a nedvesség alapvető fontosságú a növények számára.

A meteorológiai elemek értékeit naponta mérik, ezért a vegetációs periódus különböző időszakaira meghatározhatók. Nyilvánvalóan az egyik legkézenfekvőbb választás, ha az egész vegetációs periódus alatti elemértékeket vesszük figyelembe. Ilyen vizsgálatokat már végeztünk (*Varga-Haszonits et al. 1997*). További lehetőségként adódnak a fenológiai fázisok, mint természetes periódusok. Tudjuk azonban, hogy ezek néha nagyon hosszú időszakok, s így a rájuk vonatkozó átlagértékek és összegértékek elmoshatnak szükséges részleteket. A havi értékekkel a vegetációs periódus rövidebb időszakai jellemezhetők, s – mint már említettük – ezek az értékek minden meteorológiai állomáson rendelkezésre állnak. Ezért az elemzést a havi értékekkel végeztük.

3.29 táblázat. A produktivitásra leginkább ható két hónap hőmérséklete és a trendarány közötti másodfokú kapcsolat r-értékei (1951-95)

megye	1. hónap		2. hónap		1.+2. hónap
	r-érték	hónap	r-érték	hónap	r-érték
Győr-M.-S.	0.4873	AUG.	0.2498	OKT.	0.5134
Vas	0.5214	AUG.	0.3015	OKT.	0.5597
Zala	0.4591	AUG.	0.2858	MÁJ.	0.5086
Somogy	0.4357	AUG.	0.3150	ÁPR.	0.4659
Veszprém	0.4909	AUG.	0.3320	ÁPR.	0.5611
Komárom-E.	0.4264	AUG.	0.3146	ÁPR.	0.4915
Fejér	0.4101	MÁJ.	0.4002	AUG.	0.5394
Tolna	0.4299	AUG.	0.3126	MÁJ.	0.4860
Baranya	0.4260	AUG.	0.3684	ÁPR.	0.4915
Bács-Kiskun	0.4249	AUG.	0.2992	MÁJ.	0.4794
Pest	0.4507	AUG.	0.3379	ÁPR.	0.7039
Jász-N.-Szolnok	0.3997	AUG.	0.3164	MÁJ.	0.4922
Csongrád	0.4510	AUG.	0.3222	MÁJ.	0.5236
Békés	0.5502	AUG.	0.2412	JÚL.	0.5560
Hajdú-Bihar	0.5187	AUG.	0.1939	SZEPT.	0.5775
Szabolcs-Sz.-B.	0.4804	AUG.	0.3359	SZEPT.	0.6178
Borsod-A.-Z.	0.4680	AUG.	0.2548	ÁPR.	0.5065
Heves	0.4288	AUG.	0.2302	JÚN.	0.4607
Nógrád	0.4549	AUG.	0.2661	JÚL.	0.7582

A hőmérsékleti hatás: A kapott eredményeket a 3.29 táblázat mutatja be. Eszerint **hazánkban az augusztus hónap középhőmérsékletei vannak a legjelentősebb hatással a kukorica terméshozamának alakulására.** Ez a virágzást követő időszak, a termésképződés kezdete. A hatás az egész ország területén egységesen felismerhető. A második legerősebb hatású hónap r-értékei lényegesen elmaradnak az augusztusi hőmérséklet hatását tükrözőtől, s a szignifikancia szintje is gyengébb. Az ország különböző részein a legkülönbözőbb hónapok állnak a második helyen, s mindez azt sejteti, hogy csakis augusztus termésre gyakorolt erőteljes hatása általánosítható hazánk egész területére. Ugyanakkor az esetek egy részében tavaszi hónap áll a második helyen, s ez a vetési időszak hőmérsékleti viszonyainak jelentőségére utal.

A táblázat utolsó oszlopában a két legerősebb hőmérsékleti hatást mutató hónap együttes hatását kifejező, kétváltozós másodfokú összefüggéssel

meghatározott korrelációs index értékei vannak feltüntetve. Ezek a legalább 5 %-os szinten szignifikáns összefüggések az ország egész területére vonatkozóan 0,45 feletti korrelációs indexekkel rendelkeznek.

A nedvesség hatása: A nedvességi hatást a nedvességi index segítségével határoztuk meg. Mint már jeleztük, a nedvességi index értéke tulajdonképpen azt fejezi ki, hogy a lehullott csapadék hányad részét fedezi annak a vízmennyiségnek, amit a levegő képes elpárologtatni. Ha ez az érték 1, akkor a lehullott csapadék teljes mértékben fedezi a potenciális párolgáshoz szükséges vízmennyiséget. Ha 1-nél nagyobb, akkor több csapadék hull, mint amennyit a levegő képes elpárologtatni, mégpedig annyszor több, mint amennyit az érték mutat. Az 1 feletti értékek tehát nedves viszonyokat jelölnek. Ha 1-nél kisebb az érték, akkor a lehullott csapadék nem képes teljes mértékben pótolni a potenciális párolgásnak megfelelő vízmennyiséget. Csak annyiad részét, amennyit az érték mutat. Az 1 alatti értékek ezért száraz viszonyokat mutatnak.

A nedvességi index-szel kifejezett nedvességi hatás szempontjából nem lehet az egész országra vonatkozóan egységesen egyetlen hónapot kiemelni. Amint a 3.30 táblázatban láthatjuk, **a termés szempontjából általában július vagy augusztus nedvességi viszonyai a meghatározók.** Nincs olyan megye, ahol e kettő közül legalább az egyik hónap nedvességi indexének termésre gyakorolt hatását megjelenítő r-érték ne lenne legalább 5 %-os szinten szignifikáns, s nem ritka, hogy mindkettő az.

A nedvességi hatás tehát a virágzást megelőző rövid időszakban, az egész virágzás folyamán és az azt követő időszakban, a termésképződés kezdetén érvényesül a legerőteljesebben. Emellett néhány megyében a vetési időszak nedvességi viszonyainak hatása is kimutatható.

A táblázat utolsó oszlopában a nedvességi index alapján a két legerősebb nedvességi hatást mutató hónap, kétváltozós másodfokú összefüggéssel számított korrelációs index értékeit találjuk. A korrelációs index értékek – ugyanúgy, mint a hőmérséklet esetében – általában 0,45 feletti, az összefüggések, néhány kivételtől eltekintve, legalább 2 %-os szinten is szignifikánsak.

3.30 táblázat. A produktivitásra leginkább ható két hónap nedvességi indexe és a trendarány közötti másodfokú kapcsolat r-értékei (1951-95)

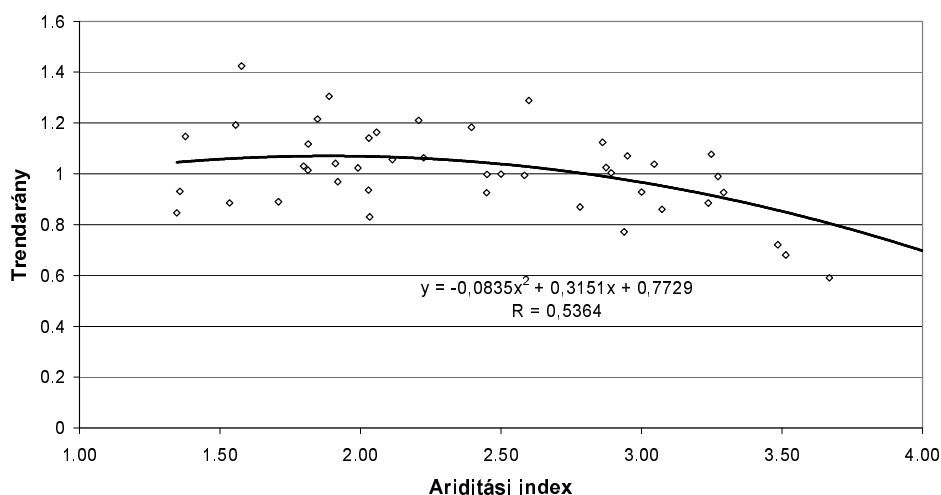
megye	1. hónap		2. hónap		1.+2. hónap
	r-érték	hónap	r-érték	hónap	r-érték
Győr-M.-S.	<u>0.4382</u>	JÚL.	<u>0.3932</u>	AUG.	0.5550
Vas	<u>0.5369</u>	AUG.	<u>0.4110</u>	JÚL.	<u>0.6123</u>
Zala	0.5072	AUG.	<u>0.2512</u>	ÁPR.	<u>0.3413</u>
Somogy	0.5132	JÚL.	<u>0.4030</u>	ÁPR.	0.5432
Veszprém	<u>0.4383</u>	JÚL.	<u>0.4308</u>	ÁPR.	0.5609
Komárom-E.	0.4487	AUG.	0.3468	JÚL.	<u>0.5179</u>
Fejér	<u>0.3824</u>	AUG.	<u>0.3718</u>	JÚL.	<u>0.5020</u>
Tolna	0.4807	AUG.	0.3351	JÚL.	0.5747
Baranya	0.4631	JÚL.	0.3236	AUG.	0.5304
Bács-Kiskun	0.4460	MÁJ.	0.4443	AUG.	0.5817
Pest	<u>0.4236</u>	JÚL.	<u>0.4198</u>	AUG.	0.5635
Jász-N.-Szolnok	0.4773	JÚL.	<u>0.2848</u>	AUG.	0.5492
Csongrád	<u>0.5346</u>	JÚL.	<u>0.4373</u>	AUG.	<u>0.6660</u>
Békés	<u>0.4087</u>	SZEPT.	<u>0.3720</u>	JÚL.	<u>0.5088</u>
Hajdú-Bihar	<u>0.3870</u>	AUG.	0.3604	JÚL.	<u>0.4750</u>
Szabolcs-Sz.-B.	<u>0.4187</u>	JÚL.	<u>0.3926</u>	AUG.	0.5600
Borsod-A.-Z.	<u>0.3681</u>	AUG.	<u>0.2793</u>	JÚL.	0.4326
Heves	<u>0.3979</u>	JÚL.	0.3286	AUG.	<u>0.3286</u>
Nógrád	<u>0.5865</u>	AUG.	0.3336	MÁJ.	0.5926

A 3.31 táblázatban összehasonlítottuk, hogy mi a különbség, ha a vegetációs periódus egészére (április-október) jellemző hőmérséklet és nedvességi index alapján becsüljük a termést, illetőleg, ha a 2-2 legerősebb befolyású hónap adatait vesszük figyelembe. A különbség szembetűnő. Jól látható, hogy a vegetációs periódus átlagos értékeivel számolt r-értékek meg sem közelítik a legerősebb hatású hónapok csaknem minden esetben legalább 2 %-os szinten szignifikáns korrelációs együtthatóit.

3.31 táblázat. A teljes vegetációs periódus illetve a 2-2 legerősebb befolyású hónap hőmérsékletének és nedvességi indexének együttes hatása a kukorica trendarányára (másodfokú kapcsolat r-értékei, 1951-95)

megye	vegetációs periódust	2-2 hónapot
	figyelembe véve	
Győr-M.-S.	<u>0.4764</u>	0.7086
Vas	<u>0.3928</u>	0.7340
Zala	<u>0.4761</u>	0.5526
Somogy	0.5076	0.6458
Veszprém	<u>0.4964</u>	0.7014
Komárom-E.	<u>0.3943</u>	0.6186
Fejér	<u>0.2236</u>	<u>0.5987</u>
Tolna	<u>0.3457</u>	0.6516
Baranya	<u>0.4955</u>	0.6653
Bács-Kiskun	<u>0.3416</u>	0.6424
Pest	<u>0.3503</u>	0.6170
Jász-N.-Szolnok	<u>0.4887</u>	0.6282
Csongrád	<u>0.3945</u>	0.7221
Békés	<u>0.3531</u>	0.6476
Hajdú-Bihar	<u>0.3273</u>	0.6571
Szabolcs-Sz.-B.	0.5353	0.7151
Borsod-A.-Z.	<u>0.4934</u>	0.5728
Heves	<u>0.2665</u>	<u>0.6096</u>
Nógrád	<u>0.4063</u>	0.7199

Tudjuk, hogy az egyes meteorológiai tényezők szélső értékei sokkal erőteljesebb hatást gyakorolnak a termésre, mint az átlagos értékek, ezért azt is elemeztük, hogy a magyarországi kukoricatermesztés fontos limitáló tényezője, a nedvességi viszonyok szélsőséges értékei milyen mértékű termésvesztést okozhatnak. A 3.22 ábrán Győr-Moson-Sopron megye esetén látható, hogy ha a vegetációs periódus párologtatóképesége nem haladja meg a csapadékot 2,8-szorosnál jobban, akkor az agrotechnikai szint által indokoltnál magasabb termések várhatók, azaz a hatás pozitív. Amíg az ariditási index 3,3 alatt marad, a termésvesztés 10 % alatti, 3,7-es szárazsági index alatt a termésvesztés nem haladja meg a 20 %-ot. 4,0-át meghaladó ariditási index viszont már 30 %-ot meghaladó termésvesztést tesz valószínűvé.



3.22 ábra. A nedvességi viszonyok hatása a kukorica trendarányára Győr-Moson-Sopron megyében (1951-95)

A 3.28-3.31 táblázatokban alkalmazott jelölések magyarázata az Anyag és módszer fejezetben a 2.1 táblázat után található.

3.4.3 A kukorica hőmérsékleti és nedvességi igénye

A kukorica hőmérséklet és nedvesség iránti igényét a havi középhőmérsékletek és a havi nedvességi index értékei alapján határoztuk meg. A vizsgálatokban a kukorica vegetációs periódusa alatti hónapokat vettük figyelembe, áprilistól októberig. A növény meteorológiai elemek iránti igényét részletesen, megyénként ismertetjük.

Hőmérsékleti igény: Mint azt már bemutattuk, a vegetációs periódus első két hónapja a megyék jelentős részében a hőmérsékleti hatás szempontjából lényeges. Csak a nyugati határszél megyéiben (Győr-Moson-Sopron, Vas) és az északi, északkeleti országrész megyéiben (Szabolcs-Szatmár-Bereg, Hajdú-Bihar, Heves, Nógrád), valamint Békés

megyében nem szerepelnek e hónapok a hőmérsékleti hatás szempontjából kiemelten. A június és a július hónap nem mutat különösebb hőmérsékleti hatást. Kiemelkedően fontosnak tűnik hőmérsékleti szempontból az augusztus hónap. Ezért a kukorica augusztusi hőmérsékleti igényét elemeztük.

Győr-Moson-Sopron megyében 18 és 21 fok közötti havi középhőmérsékletek esetén a trendarányok általában 0,8 és 1,2 között változnak, vagyis a terméshozamok $\pm 20\%$ ingadozást mutatnak, de a hatás inkább pozitív. A 18 fok alatti és a 22 fok feletti havi középhőmérsékletek viszont jelentős terméseszkkenést okozhatnak, ami meghaladhatja a 40%-ot is.

Vas megyében a 17 és 21 fok közötti havi középértékek mellett a trendarányok többnyire 0,8 és 1,2 között ingadoznak. A 17 alatti és a 22 fok feletti havi középértékek esetén jelentős terméseszkkenéssel kell számolni. Magas havi középhőmérsékletek esetén (22 fok felett) 40%-os terméseszkkenéssel is lehet számolni.

Zala megyében a 17 és 21 fok közötti havi középértékek mellett a trendarányok többnyire 0,8 és 1,2 között ingadoznak. A 17 alatti és a 22 fok feletti havi középértékek esetén jelentős terméseszkkenéssel kell számolni. Magas havi középhőmérsékletek esetén (22 fok felett) 40%-os terméseszkkenéssel is lehet számolni.

Somogy megyében 18 és 21 fok közötti havi középhőmérsékletek esetén a trendarányok általában 0,8 és 1,2 között változnak, vagyis a terméshozamok $\pm 20\%$ ingadozást mutatnak, de a hatás inkább pozitív. A 18 fok alatti és a 22 fok feletti havi középhőmérsékletek viszont jelentős terméseszkkenést okozhatnak, ami meghaladhatja a 40%-ot is.

Veszprém megyében 17,5 és 21 fok közötti havi középhőmérsékletek esetén a trendarányok általában 0,8 és 1,2 között változnak, vagyis a terméshozamok $\pm 20\%$ ingadozást mutatnak, de a hatás inkább pozitív. A 22 fok feletti havi középhőmérsékletek viszont jelentős terméseszkkenést okozhatnak, ami meghaladhatja a 40%-ot is.

Komárom-Esztergom megyében 17,5 és 21 fok közötti havi középhőmérsékletek esetén a trendarányok általában 0,8 és 1,2 között változnak, vagyis a terméshozamok $\pm 20\%$ ingadozást mutatnak, de a hatás inkább pozitív. A 22 fok

feletti havi középhőmérsékletek viszont jelentős termés csökkenést okozhatnak, ami meghaladhatja a 40%-ot is.

Fejér megyében 17 és 21 fok közötti havi középhőmérsékletek esetén a trendarányok általában 0,8 és 1,2 között változnak, vagyis a terméshozamok $\pm 20\%$ ingadozást mutatnak, de a hatás inkább pozitív. A 22 fok feletti havi középhőmérsékletek viszont jelentős termés csökkenést okozhatnak, ami meghaladhatja a 40%-ot is.

Tolna megyében 17,5 és 21 fok közötti havi középhőmérsékletek esetén a trendarányok általában 0,8 és 1,2 között változnak, vagyis a terméshozamok $\pm 20\%$ ingadozást mutatnak, de a hatás inkább pozitív. A 22 fok feletti havi középhőmérsékletek viszont jelentős termés csökkenést okozhatnak, ami meghaladhatja a 40%-ot is.

Baranya megyében 18 és 22 fok közötti havi középhőmérsékletek esetén a trendarányok általában 0,8 és 1,2 között változnak, vagyis a terméshozamok $\pm 20\%$ ingadozást mutatnak, de a hatás inkább pozitív. A 23 fok feletti havi középhőmérsékletek viszont jelentős termés csökkenést okozhatnak, ami meghaladhatja a 40%-ot is.

Bács-Kiskun megyében 17,5 és 21 fok közötti havi középhőmérsékletek esetén a trendarányok általában 0,8 és 1,2 között változnak, vagyis a terméshozamok $\pm 20\%$ ingadozást mutatnak, de a hatás inkább pozitív. A 23 fok feletti havi középhőmérsékletek viszont jelentős termés csökkenést okozhatnak, ami meghaladhatja a 40%-ot is.

Pest megyében 17,5 és 21 fok közötti havi középhőmérsékletek esetén a trendarányok általában 0,8 és 1,2 között változnak, vagyis a terméshozamok $\pm 20\%$ ingadozást mutatnak, de a hatás inkább pozitív. A 23 fok feletti havi középhőmérsékletek viszont jelentős termés csökkenést okozhatnak, ami meghaladhatja a 40%-ot is.

Jász-Nagykun-Szolnok megyében 18 és 22 fok közötti havi középhőmérsékletek esetén a trendarányok általában 0,8 és 1,2 között változnak, vagyis a terméshozamok $\pm 20\%$ ingadozást mutatnak, de a hatás inkább pozitív. A 22 fok

feletti havi középhőmérsékletek viszont jelentős termés csökkenést okozhatnak, ami meghaladhatja a 40%-ot is.

Csongrád megyében 18 és 22 fok közötti havi középhőmérsékletek esetén a trendarányok általában 0,8 és 1,2 között változnak, vagyis a terméshozamok $\pm 20\%$ ingadozást mutatnak, de a hatás inkább pozitív. A 22 fok feletti havi középhőmérsékletek viszont jelentős termés csökkenést okozhatnak, ami meghaladhatja a 40%-ot is.

Békés megyében 18 és 22 fok közötti havi középhőmérsékletek esetén a trendarányok általában 0,8 és 1,2 között változnak, vagyis a terméshozamok $\pm 20\%$ ingadozást mutatnak, de a hatás inkább pozitív. A 23 fok feletti havi középhőmérsékletek viszont jelentős termés csökkenést okozhatnak, ami meghaladhatja a 40%-ot is.

Hajdú-Bihar megyében 18 és 22 fok közötti havi középhőmérsékletek esetén a trendarányok általában 0,8 és 1,2 között változnak, vagyis a terméshozamok $\pm 20\%$ ingadozást mutatnak, de a hatás inkább pozitív. A 23 fok feletti havi középhőmérsékletek viszont jelentős termés csökkenést okozhatnak, ami meghaladhatja a 40%-ot is.

Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében 18 és 22 fok közötti havi középhőmérsékletek esetén a trendarányok általában 0,8 és 1,2 között változnak, vagyis a terméshozamok $\pm 20\%$ ingadozást mutatnak, de a hatás inkább pozitív. A 23 fok feletti havi középhőmérsékletek viszont jelentős termés csökkenést okozhatnak, ami meghaladhatja a 40%-ot is.

Borsod-Abaúj-Zemplén megyében 18 és 22 fok közötti havi középhőmérsékletek esetén a trendarányok általában 0,8 és 1,2 között változnak, vagyis a terméshozamok $\pm 20\%$ ingadozást mutatnak, de a hatás inkább pozitív. A 23 fok feletti havi középhőmérsékletek viszont jelentős termés csökkenést okozhatnak, ami meghaladhatja a 40%-ot is.

Heves megyében 18 és 22 fok közötti havi középhőmérsékletek esetén a trendarányok általában 0,8 és 1,2 között változnak, vagyis a terméshozamok $\pm 20\%$ ingadozást mutatnak, de a hatás inkább pozitív. A 23 fok feletti havi

középhőmérsékletek viszont jelentős termés csökkenést okozhatnak, ami meghaladhatja a 40%-ot is.

Nógrád megyében 17 és 20 fok közötti havi középhőmérsékletek esetén a trendarányok általában 0,8 és 1,2 között változnak, vagyis a terméshozamok $\pm 20\%$ ingadozást mutatnak, de a hatás inkább pozitív. A 21 fok feletti havi középhőmérsékletek viszont jelentős termés csökkenést okozhatnak, ami meghaladhatja a 40%-ot is.

Összefoglalva: az augusztusi hőmérséklet és a termés kapcsolatának elemzésekor úgy találtuk, hogy a földrajzi elhelyezkedéstől enyhén függ a növények számára optimálisnak tekinthető, 20 %-osnál nagyobb termésszórózkodást nem okozó hőmérsékleti intervallum szélessége. Ennek alsó határa 17-18 °C között található, a felső határ pedig 20-22 °C között. Tehát ilyen hőmérsékleti értékek mellett a trendarányok 0,8 és 1,2 között változnak, vagyis a terméshozamok maximum $\pm 20\%$ -os ingadozást mutatnak. Az optimálisnál magasabb hőmérsékletek esetén a prognosztizált termésvesztés a legtöbb megyében akár a 40 %-ot is meghaladhatja.

Nedvességi igény: Mint arra már utaltunk, a nedvességi index értéke tulajdonképpen azt fejezi ki, hogy *a lehullott csapadék hányad részét fedezi annak a vízmennyiségnek, amit a levegő képes elpárologtatni.* A 3.30 táblázat szerint egy-két kivételtől eltekintve *április, május és június hónapokban nem mutatható ki különösebb nedvességi igény. Július és augusztus hónap viszont kifejezett nedvességi igényt mutat.* Ez a két hónap a virágzást közvetlen megelőző időszakot, a virágzás alatti időszakot és a virágzás utáni, a termés képződés kezdetének időszakát öleli fel.

Ekkor **Győr-Moson-Sopron megyében** a 0,3 és 1,0 havi nedvességi indexértékek között a trendarányok 0,8 és 1,2 között változnak, a hatás jellege azonban inkább pozitív. Ha a havi értékek 0,3 alá csökkennek vagy 1,0 fölé emelkednek, akkor jelentős termés csökkenéssel kell számolni, ami esetenként a 10-20%-os csökkenést is meghaladhatja.

Vas megyében 0,45 és 1,4 közötti havi értékek esetén a trendarányok 0,8 és 1,2 között változnak. Ha a havi értékek 1,4 fölé emelkedtek, akkor sem volt kimutatható termés csökkenés. Viszont 0,2 és főleg 0,15 alatti havi értékek esetén a termés csökkenés a 40%-ot is meghaladhatja.

Zala megyében 0,45 és 1,4 közötti havi értékek esetén a trendarányok 0,8 és 1,2 között változnak. Ha a havi értékek 1,4 fölé emelkedtek, akkor sem volt kimutatható természsökkenés. Viszont 0,2 és főleg 0,15 alatti havi értékek esetén a természsökkenés a 40%-ot is meghaladhatja.

Somogy megyében 0,4 és 1,4 közötti havi értékek esetén a trendarányok 0,8 és 1,2 között változnak. Ha a havi értékek 1,4 fölé emelkedtek, akkor sem volt kimutatható természsökkenés. Viszont 0,2 és főleg 0,15 alatti havi értékek esetén a természsökkenés a 40%-ot is meghaladhatja.

Veszprém megyében 0,4 és 1,4 közötti havi értékek esetén a trendarányok 0,8 és 1,2 között változnak. Ha a havi értékek 1,4 fölé emelkedtek, akkor sem volt kimutatható természsökkenés. Viszont 0,2 és főleg 0,15 alatti havi értékek esetén a természsökkenés a 40%-ot is meghaladhatja.

Komárom-Esztergom megyében 0,4 és 1,4 közötti havi értékek esetén a trendarányok 0,8 és 1,2 között változnak. Ha a havi értékek 1,4 fölé emelkedtek, akkor sem volt kimutatható természsökkenés. Viszont 0,2 és főleg 0,15 alatti havi értékek esetén a természsökkenés a 40%-ot is meghaladhatja.

Fejér megyében 0,3 és 1,4 közötti havi értékek esetén a trendarányok 0,8 és 1,2 között változnak. Ha a havi értékek 1,4 fölé emelkedtek, akkor sem volt kimutatható természsökkenés. Viszont a 0,3 alatti havi értékek esetén a természsökkenés a 40%-ot is meghaladhatja.

Tolna megyében 0,3 és 1,4 közötti havi értékek esetén a trendarányok 0,8 és 1,2 között változnak. Ha a havi értékek 1,4 fölé emelkedtek vagy 0,3 alá csökkentek, akkor jelentős természsökkenéssel lehetett számolni. A 0,3 alatti havi nedvességi indexek esetén a csökkenés még a 40%-ot is meghaladhatta.

Baranya megyében 0,3 és 1,3 közötti havi értékek esetén a trendarányok 0,8 és 1,2 között változnak. Ha a havi értékek 1,4 fölé emelkedtek vagy 0,3 alá csökkentek, akkor jelentős természsökkenéssel lehetett számolni. A 0,3 alatti havi nedvességi indexek esetén a csökkenés még a 40%-ot is meghaladhatta.

Bács-Kiskun megyében 0,25 és 1,1 közötti havi értékek esetén a trendarányok 0,8 és 1,2 között változnak. Ha a havi értékek 1,1 fölé emelkedtek vagy 0,25 alá

csökkentek, akkor jelentős termésnövekedéssel lehetett számolni. A 0,25 alatti havi nedvességi indexek esetén a csökkenés még a 40%-ot is meghaladhatta.

Pest megyében 0,25 és 1,1 közötti havi értékek esetén a trendarányok 0,8 és 1,2 között változnak. Ha a havi értékek 1,1 fölé emelkedtek vagy 0,25 alá csökkentek, akkor jelentős termésnövekedéssel lehetett számolni. A 0,25 alatti havi nedvességi indexek esetén a csökkenés még a 40%-ot is meghaladhatta.

Jász-Nagykun-Szolnok megyében ha a nedvességi index havi értékei 0,3 alá csökkentek, akkor termésnövekedés volt tapasztalható. További nedvességi index csökkenés esetén (0,2 alatt) már 30-40%-os termésnövekedés is előfordult.

Csongrád megyében ha a nedvességi index havi értékei 0,3 alá csökkentek, akkor termésnövekedés volt tapasztalható. További nedvességi index csökkenés esetén (0,2 alatt) már 30-40%-os termésnövekedés is előfordult.

Békés megyében ha a nedvességi index havi értékei 0,3 alá csökkentek, akkor termésnövekedés volt tapasztalható. További nedvességi index csökkenés esetén (0,2 alatt) már 30-40%-os termésnövekedés is előfordult.

Hajdú-Bihar megyében ha a nedvességi index havi értékei 0,3 alá csökkentek, akkor termésnövekedés volt tapasztalható. További nedvességi index csökkenés esetén (0,2 alatt) már 30-40%-os termésnövekedés is előfordult.

Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében ha a nedvességi index havi értékei 0,3 alá csökkentek, akkor termésnövekedés volt tapasztalható. További nedvességi index csökkenés esetén (0,2 alatt) már 30-40%-os termésnövekedés is előfordult.

Borsod-Abaúj-Zemplén megyében ha a nedvességi index havi értékei 0,4 alá csökkentek, akkor termésnövekedés volt tapasztalható. További nedvességi index csökkenés esetén (0,2 alatt) már 30-40%-os termésnövekedés is előfordult.

Heves megyében 0,3 és 1,2 közötti havi értékek esetén a trendarányok 0,8 és 1,2 között változnak. Ha a havi értékek 1,2 fölé emelkedtek vagy 0,3 alá csökkentek, akkor jelentős termésnövekedéssel lehetett számolni. A 0,3 alatti havi nedvességi indexek esetén a csökkenés még a 40%-ot is meghaladhatta.

Nógrád megyében ha a nedvességi index havi értékei 0,35 alá csökkentek, akkor termésnövekedés volt tapasztalható. További nedvességi index csökkenés esetén (0,2 alatt) már 30-40%-os termésnövekedés is előfordult.

Összefoglalva: a nedvességi index és a trendarányok közötti kapcsolat a hőmérsékletnél erősebb területi változékonyságot mutat. A dunántúli megyékre általában jellemző, hogy az optimális nedvességi index intervallum alsó határa 0,3-0,45, a felső pedig 1,3-1,4. Ilyen július-augusztusi nedvességi viszonyok mellett a várható termés az agrotechnikai szint által indokolt érték 80-120 %-a. Az optimálisnál alacsonyabb vagy magasabb nedvesség a termést 40 %-kal is csökkentheti. Az alföldi és északi megyékben rosszabb a növények vízellátottsága, ez tükröződik az e területekre jellemző optimális nedvességi intervallum alacsonyabb határértékeiben is. Egyes megyékben ez 0,25-0,3-tól 1,1-1,3-ig tart, míg más megyékben az optimális zónának nem mutatható ki felső határa. Az index értékek optimumtól való eltérése itt is hasonló nagyságrendű veszteséget okozhat.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A témaválasztást, a meteorológiai viszonyok kukorica termesztésére gyakorolt hatásának vizsgálatát számos tény indokolja. A kukorica egyik legfontosabb gazdasági növényünk, s egyben a legfontosabb takarmánynövényünk. Magas terméspotenciálja és sokirányú hasznosítása miatt termesztési körzete kiterjedt, sokszor alkalmazkodási határának közelében is termesztik. Hazánk éghajlata is mutat jelentős eltéréseket a kukorica származási helyéhez képest, s bár a növényt jó alkalmazkodóképesség jellemzi, mindez a növény-környezet kapcsolat minél jobb megismerését követeli. Másrésről egy adott terület éghajlata - különösen a növénytermesztés számára - lényeges potenciális erőforrás. Ahhoz, hogy ez minél jobban kihasználható legyen, szintén fontosak e vizsgálatok. Ezért tűztük ki célul ***a kukorica éghajlati igényeinek jobb megismerését és a meteorológiai tényezők e növény növekedésére, fejlődésére és produktívítására gyakorolt hatásának elemzését és modellezését.***

A célkitűzés megvalósításához ***az agrometeorológiai vizsgálatok két alapvető módszerét alkalmaztuk:*** egyfelől elemeztük a tanszékünk Meteorológiai Csoportján belül működtetett agroklimatológiai adatbázist, másrésről 1997 és 1999 között szántóföldi kísérletet állítottunk be Mosonmagyaróváron. Az előbbi esetben több

évtizedes, változatos meteorológiai és növényre vonatkozó (fenológiai) adatsorok álltak rendelkezésünkre az ország egész területét lefedő megfigyelőállomásokról. E nagymennyiségű adat feldolgozásához a matematikai statisztika módszereit éppúgy felhasználtuk, mint a számítástechnika nyújtotta lehetőségeket. A kísérlet szintén az agrometeorológia alapelvét megtestesítő párhuzamos meteorológiai és fenológiai adatgyűjtést valósított meg: az általunk dekádonként rögzített növényi paraméterekhez a közelben működő meteorológiai állomás adatait rendeltük hozzá, valamint kiegészítő talajnedvességi méréseket is végeztünk. A szántóföldi kísérlet 1999 utáni folytatása lehetővé tette az eredmények verifikálását, s lehetőséget biztosít a kutatási téma továbbvitelére. Vizsgálatainkat a Magyarország fajtaválasztékának jelentős részét kitevő korai (FAO 300) és a középkorai (FAO 400) éréscsoportra összpontosítottuk.

A kukorica számára a meteorológiai tényezők közül a sugárzás, a hőmérséklet és a víz alapvető fontosságú, ezért a vegetációs periódus meteorológiai viszonyainak elemzésekor is ezeket (összesen 10 meteorológiai elemet) *vizsgáltuk.* Úgy találtuk, hogy a nedvességi viszonyok a termikus elemekhez képest nagyobb változékonyságot mutatnak, s nagyobb szerepük lehet a termésingadozásban. A nedvességi elemek terméslimitáló szerepét hangsúlyozza az a tény, hogy ezek a kukorica számára kritikus július-augusztusi időszakban korlátozottan állnak rendelkezésre. A vegetációs periódus 1951-90-es időszakra vonatkozó meteorológiai elemértékekkel történő jellemzése korábbi, hasonló, de más időszakok adatai alapján elvégzett vizsgálatokkal egybevetve az éghajlati változékonyság - éghajlatváltozás kérdéséhez is szolgáltathat adalékokat.

A növekedésre gyakorolt meteorológiai hatások elemzése: Többéves szántóföldi kísérletek alapján vizsgáltuk a növekedést kifejező paraméterek (magasság, levélfelület, szárazanyag) időbeli alakulását a tényleges illetve a termikus idő, azaz az effektív hőmérsékleti összegfüggvényében. Úgy találtuk, hogy ez utóbbi inkább meghatározza a kukorica növekedési jellemzőinek alakulását. Modellt dolgoztunk ki a

hőmérsékleti összeg és a két éréscsoport növekedési paramétereinek kapcsolatára. Ennek alapján a termikus idő olyan határértékeit állapítottuk meg, melyek a növekedési paraméterek különböző intenzitású szakaszait különítik el. A modellt a 2000. év eredményei alapján verifikáltuk.

Más meteorológiai elemek növekedésre gyakorolt hatását is vizsgáltuk. Egyváltozós összefüggésvizsgálatok eredményei alapján kiválasztottuk azokat a tényezőket, melyek erősen befolyásolják a kukorica növekedését, azzal a céllal, hogy együttes hatásukat többváltozós vizsgálatokkal számszerűsítsük. A nedvességi tényezők közül a kukorica gyökérzömét tartalmazó mélyebb talajrétegek nedvessége befolyásolta leginkább a növekedést, míg a termikusak közül a hőmérsékleti elemek hatása meghaladta a napfénytartamét. A növekedési jellemzők közül a szárazanyag alakulására hatottak a legkevésbé, a levélfelület növekedésére pedig a leginkább a meteorológiai tényezők.

A mért napfénytartam adatokból globálsugárzási értékeket képezve többváltozós modellt hoztunk létre a termés szempontjából fontos szárazanyag gyarapodás leírására. Eredményeink azt mutatják, hogy sugárzási és hőmérsékleti adatok segítségével – nem szélsőséges nedvességi viszonyok között – higrikus paraméter nélkül is jól előrejelezhető a szárazanyag alakulása.

A fejlődésre gyakorolt meteorológiai hatások vizsgálata: Elemeztük a kukorica fejlődésére vonatkozó több évtizedes adatokat, s elkészítettük a két éréscsoport fázistartamainak statisztikáját. Általában a középkorai éréscsoport vegetációs periódusa kb. 10 nappal hosszabb a korai éréscsoporténál, de mindkét időszak jól beleillik a 10 °C feletti középhőmérsékletű periódusba, azaz az erre vonatkozó irodalmak többségével egyezően e hőmérséklet tekinthető a növény bázishőmérsékletének.

A vetés-kelés, kelés-címerhányás és címerhányás-érés fejlődési szakaszokat megkülönböztetve végeztünk egy- és többváltozós éghajlat-fejlődés összefüggésvizsgálatokat. Általában azt tapasztaltuk, hogy a generatív szakaszban érvényesült a legerősebb, a vegetatívban a leggyengébb meteorológiai hatás. Az egyváltozós vizsgálatok segítették a többváltozós vizsgálatok független (meteorológiai) tényezőinek kiválasztását. A termikus tényezőkhatalása egyértelműen meghaladta a higrikusakét. Figyelembe kellett azonban venni, hogy a külön-külön jó eredményt adó hőmérséklet és sugárzás egymástól nem függetlenek, ezért – a multikollinearitás elkerülése miatt – a többváltozós modellben sem szerepelhetek független változókként, csakis index formájában. Az így képzett indexek (radio- illetve fototermikus index) segítségével nagyon pontosan modellezhető a fejlődés.

Az állomásonként végzett elemzések során észlelt hasonló tendenciák amelletl szóltak, hogy vizsgáljuk meg annak lehetőségét, kidolgozható-e olyan általános

összefüggés, mely az összes állomáson végzett mérésen alapul és a vegetációs periódus egészét figyelembe véve írja le a növényfejlődésre gyakorolt meteorológiai hatást. Ehhez azonban ki kellett mutatnunk, hogy a különböző állomások fenológiai adatai között kapcsolat van. Ezt követően az egyesített adathalmazon kidolgozhattuk a hazánkban általánosan érvényes fototermikus index-fejlődés kapcsolatot leíró összefüggést.

Azt is megvizsgáltuk, hogy a fejlődéssel jó összefüggést mutató hőmérsékletet milyen formában célszerű használni. Általában lényegesen el nem térő, jó eredményeket kaptunk a hatféle hőmérsékleti érték használata esetén.

A termésre gyakorolt meteorológiai hatások vizsgálata: 45 éves adatsort felhasználva éghajlat-termés modellt dolgoztunk ki, melynek első lépésében szétválasztottuk a meteorológiai és agrotechnikai hatást, s így a meteorológiai tényezők együttes hatását számszerűsítettük az ország különböző területein, a vizsgált több évtized folyamán. Vizsgáltuk a sugárzás- és vízhasznosulást, s azt tapasztaltuk, hogy e fontos erőforrások hasznosításának mértéke lényegében meghatározta a termés alakulását.

Másodfokú ökológiai görbére mutató összefüggésvizsgálatokkal választottuk ki a termés szempontjából jelentős hatású hónapokat. Az ország egész területén július és augusztus hónapok nedvességi viszonyai és augusztus hőmérséklete hat leginkább a produktivitásra. Megállapítottuk ezen időszakokban az optimális terméshez szükséges meteorológiai értékeket hazánk egész területére, s kalkuláltuk az ettől való eltérések terméscsökkentő hatását.

A fázistartamok és a termés közötti kapcsolatot elemezve kimutattuk, hogy a létrejövő produktum nagyságát alapvetően az határozza meg, hogy a kukorica tényleges vegetációs periódusa milyen mértékben használja ki a hőmérsékletileg lehetséges időszakot.

Az eredmények hasznosíthatósága: A dolgozat eredményei elősegíthetik az éghajlat-kukorica kapcsolat jobb megismerését és a mezőgazdasági termelésben a meteorológiai szempontok fokozott figyelembe vételét. Egy kutatás hatékonyságát azonban nem az jelzi, hogy milyen mértékben használják eredményeit, hanem hogy használata esetén milyen eredményeket lehetne elérni vele. Természetesen a vizsgálatok megtervezése és az eredmények megfogalmazása gátolhatja vagy segítheti a gyakorlati alkalmazhatóságot. Ezért a meteorológiai tényezők és a növényi

életjelenségek kapcsolatát leíró modelljeink kidolgozásakor fontos szempont volt ezek egyszerűsége; az, hogy kevés, de valóban meghatározó paramétert tartsanak. E független változókkal szemben igény volt az is, hogy egyszerűen mérhetők (és az indexek esetén) könnyen képezhetők legyenek.

Az éghajlat és kukorica kapcsolatának vonatkozásában tett új megállapításaink a gyakorlat számos pontján beépülhetnek (a jobban alkalmazkodó hibridek nemesítésétől, a növényi igényeket figyelembe vevő agrotechnika alkalmazásán át a különböző területek eltérő meteorológiai viszonyait kihasználó tájtermesztésig). A fent felsorolt eredmények elősegítik a kukorica éghajlati feltételrendszerének, a növény által támasztott igényeknek, a meteorológiai hatásokra adott növényi reakcióknak és a kukorica éghajlati erőforrásokat hasznosító képességének jobb megismerését. A területi és időbeli különbségek kimutatása árnyalja a képet. A kapcsolatok feltárása, számszerűsítése és modellezése lehetővé teszi a döntésekbe való beépítést, s gazdaságossági számítások alapját is képezheti.

Tervezzük a vizsgálatok kiegészítését az éghajlatnak a kukorica beltartalmi mutatóira, minőségére gyakorolt hatáselemzésével, ez azonban további vizsgálatokat igényel.

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Felmértük *a kukorica vegetációs periódusa alatt a meteorológiai elemek változékonyságát* az ország egész területére az 1951-90-es időszak adatai alapján. A higrikus elemek a termikusakét jóval meghaladó ingadozásai, s az ezáltal valószínűbben kialakuló szélsőséges nedvességi helyzetek ternéslimitáló hatásúak lehetnek, különösen július-augusztus hónapokban. A korábbiaknál kiterjedtebb adatbázis elemzésével nyert ismeretek összehasonlíthatóak a régebbi ilyen jellegű vizsgálatokkal, s ez informatív lehet bizonyos éghajlati változékonysági-éghajlatváltozási tendenciák felismerésében is.

2. Többéves szántóföldi kísérletre alapozva a termikus idő és a kukorica növekedési paraméterei (magasság, levélfelület, szárazanyag) közti kapcsolatot állapítottunk meg a hazánkban termesztett két fő éréscsoport egy-egy reprezentánsára.

Egy- és többváltozós összefüggésvizsgálatok segítségével kiválasztottuk **a növekedést** leginkább **befolyásoló meteorológiai tényezőket** és ezek kombinációit. A gyökérzömöt tartalmazó talajrétegek nedvessége és a hőmérsékleti elemek használhatók leginkább a növekedés jellemzésére.

A sugárzás és hőmérséklet alapján modelleztük a szerves anyag felhalmozódását.

3. Elemeztük a két éréscsoport fázistartamainak statisztikáját az ország egész területét reprezentáló állomások több évtizedes adatai alapján. Fenofázisonként végeztünk egy- és többváltozós **összefüggésvizsgálatot a meteorológiai tényezők és a kukorica fejlődése közti kapcsolat** feltárására. A hatás erőssége szempontjából rangsoroltuk a fejlődési szakaszokat és meteorológiai elemeket. A termikus tényezők fejlődésre gyakorolt befolyása erősebbnek bizonyult a higrikusakénál. A kukorica a generatív szakaszban a legérzékenyebb a meteorológiai hatásokra.

Azonos éréscsoport különböző állomásainak fenológiai adatai között összefüggéseket mutattunk ki.

Korábban nem vizsgált indexek és számított értékek (radio- és fototermikus index, foto- és niktohőmérséklet) hatását is elemeztük.

A fototermikus index és a fázistartam között az egész vegetációs periódusra és az ország teljes területére általánosítható összefüggést dolgoztunk ki.

4. **Éghajlat-termés** modellt dolgoztunk ki az 1951-95 közötti 45 éves adatsorra. Ilyen hosszúságú termés-adatsorok használata ritka az agrometeorológiában. A modell létrehozásának első lépésében szétválasztottuk az agrotechnikai és meteorológiai hatást, s a második lépésben a trendarányt hoztuk kapcsolatba a meteorológiai elemekkel.

Egy- és többváltozós, nemlineáris (főként másodfokú, ökológiai görbére mutató) összefüggésvizsgálatokat végeztünk, melyek jó lehetőséget nyújtottak fontos takarmánynövényünk éghajlati (hőmérsékleti és nedvességi) igényeinek megállapítására és a termés szempontjából kiemelkedő jelentőségű időszakok elkülönítésére. Szintén megyénként elemeztük a kedvezőtlen meteorológiai elemértékek termés-csökkentő hatását.

A fázisstartamok és termés kapcsolatának vizsgálatakor úgy találtuk, hogy a termést leginkább az határozza meg, mennyire használja ki a kukorica tényleges vegetációs periódusa a lehetséges időszakot.

THESES

1. The *variability of meteorological elements during the growing season of maize* in Hungary was calculated on the basis of data from 1951-90. The results of this research, based on a relatively huge database, can be compared to results of similar studies analyzing different intervals. The differences can be informative about climate variability or change.
2. On the basis of field studies, *the effect* of thermal time *on growth* characteristics of maize was examined in the case of two hybrids representing the main maturity groups grown in Hungary. A model describing the effect of global radiation and temperature on the amount of biomass was built up.
3. Non-linear relationship between one or more *meteorological elements and development* was modeled during different phenological stages of maize on the basis of decade-long data-series. Using all available phenological data, a model describing the effect of photothermal index (that contains both temperature and radiation) on development was created for all stages.
4. On the basis of a 45-year long data-series, a *climate-yield* model was built up. The use of such a long data-series is unusual in agrometeorology. First

the meteorological and agrotechnical effects were separated and a complex meteorological effect was calculated, then the effect of one or more meteorological elements on the productivity of maize was analyzed. Nonlinear statistical methods were used. Intervals (months) critical for yield were separated and the meteorological requirements of maize were determined during these periods. The role of water use and radiation efficiency in achieving higher yields was also analyzed.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

E dolgozat elejére az én neven került a disszertáció készítőjeként. Valóban én írtam, de sok ember szeretete, türelme és munkája fekszik benne. Ezúton is köszönöm mindnyájuknak: témavezetőmnek, Dr. Varga-Haszonits Zoltánnak, (volt) programvezetőmnek, Dr. Debreczeni Bélánénak, kollégáimnak a tanszékről, a mosonmagyaróvári karról, a volt Pannon egyetemről és egyéb intézményekből, illetve a családomnak.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

ABDIN, O. - COULMAN, B. E. - CLOUTIER, D. - FARIS, M. A. - ZHOU, X. – SMITH, D. L. (1998): Yield and Yield Components of Corn Interseeded with Cover Crops. *Agronomy Journal*. 90 (1), 63-68.

ACOCK, B. (1989): Crop Modelling in USA. *Acta Horticulturae*. 248, 365-371.

AL-KHATIB, K. – PAULSEN, G. M. (1999): High-Temperature Effects on Photosynthetic Processes in Temperate and Tropical Cereals. *Crop Science*. 39 (1), 119-125.

ALLEN, R. G. – GICHUKI, F. N. – ROSENZWEIG, C. (1991): CO₂-induced climate changes and irrigation-water requirements. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 117 (2), 157-178.

ANDA A. (1987): A kukorica néhány sugárzás, hő- és vízháztartás komponensének alakulása a N-ellátottság függvényében. *Növénytermelés*. 36, 161-170.

ANDA A. (1990): A kukorica levélfelületét mérő módszerek összehasonlítása. *Beszámolók az 1986-ban végzett tudományos kutatásokról*. OMSZ, Budapest. 58-64.

ANDA A. (1992): Mikroklíma vizsgálatok eltérő vetésirányú cukorrépa-állományokban. Beszámolók az 1987-ben végzett tudományos kutatásokról. OMSZ, Budapest. 35-44.

ANDA A. (1999): Az állományklímát befolyásoló néhány eljárás mikroklimatológiai elemzése. MTA doktori értekezés, Keszthely.

ANDA A. – HUNKÁR M. (1999): The effect of alginite on the production and water use of maize. *Időjárás*. 103 (2), 123-136.

ANDRADE, F. H. - OTEGUI, M. E. – VEGA, C. (2000): Intercepted Radiation at Flowering and Kernel Number in Maize. *Agronomy Journal*. 92 (1), 92-97.

ANDREJENKO, SZ. SZ. - KUPERMAN, F. M. (1961): A kukorica élettana. (Fiziológia kukuruzti). Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

ANTAL E. (1981): Az időjárás és az éghajlat hatása a műtrágya érvényesülésére. Kutatási zárójelentés, OMI.

ANTAL E. (1992): Kiinduló helyzetkép légköri erőforrásainkról és azok hasznosításáról. Beszámolók az 1987-ben végzett tudományos kutatásokról. OMSZ, Budapest. 164-180.

ANTAL E. – POSZA I. (1970): A különböző növényállományok növénykonstansai és változásuka tenyészidő folyamán. Beszámolók az 1968-ban végzett tudományos kutatásokról. OMSZ, Budapest. 452-460.

ANTAL E. – SZESZTAY K. (1996): Climate and water in plant ecology. *Időjárás*. 100 (1-3), 193-206.

BACSÓ N. (1973): Bevezetés az agrometeorológiába. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

BAIER, W. (1979): Note on the terminology of crop-wether models. *Agricultural Meteorology*. 20., 137-145.

BAIER, W. (1981): Crop-Weather Analysis Models. Applications of remote sensing to Agriculture Production Forecasting. 108-118.

BARBAT, I. – PUJA, I. (1957): Der Einfluss des Lichtes auf die Entwicklung des Mais. *Z. Landwirtschaft*. 3, 105-113. Cit.: Menyhért Z. /szerk./ (1985): A kukoricatermesztés kézikönyve. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

BARBIERI, P. A. - ROZAS, H. R. S. - ANDRADE, F. H. – ECHEVERRIA, H. E. (2000). Row Spacing Effects at Different Levels of Nitrogen Availability in Maize. *Agronomy Journal*. 92 (2), 283-287.

BERÉNYI D. (1942): A burgonya termelése és összefüggése az időjárással. Debrecen.

BERÉNYI D. (1945): A kukorica termelése és összefüggése az időjárással. Tiszántúli Mezőgazdasági Kamara, Debrecen.

BERRY, W. A. J. – CLEMENCE, B. S. E. (1993): Thermal time bias in maize growth simulation due to mesoscale weather effects. *South African Journal of Plant and Soil*. 10 (1), 1-5.

BERZSENYI Z. (2000): Növekedésanalízis a növénytermesztésben. Egyetemi jegyzet PhD hallgatóknak. Keszthely-Martonvásár.

BOCZ E. (1988): Vízellátottsági és öntözési jelzés. ATE Növénytermesztéstan Tanszék, Debrecen.

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

BÖLÖNI I. - GYÖRFFY B. - I'SO I. (1965): Kukoricatermesztés. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

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

BROWN (1969): HU-index. Cit.: Bocz E. (1992): Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

BULLOCK, D. G. - BULLOCK, D. S. - NAFZIGER, E. D. - DOERGE, T. A. - PASZKIEWICZ, S. R. - CARTER, P. R. – PETERSON, T. A. (1998): Does Variable Rate Seeding of Corn Pay? *Agronomy Journal*. 90 (6), 830-836.

BUSSAY A.- VARGA-HASZONITS Z.- LAMBERT K. (1993): A párologtatóképesség számítása hosszú sorozatokra. Beszámolók az 1989-ben végzett tudományos kutatásokról. OMSZ, Budapest, 136-143.

CANTARERO, M. G. - CIRILO, A. G. – ANDRADE, F. H. (1999): Night Temperature at Silking Affects Kernel Set in Maize. *Crop Science*. 39 (3), 703-710.

CARTER, T. R. – PORTER, J. H. – PARRY, M. L. (1991): Climatic warming and crop potential in Europe /Prospects and uncertainties/. *Global Environmental Change*. 1, 291-312.

CHAPMAN, S. C. – EDMANDES, G. O. (1999): Selection Improves Drought Tolerance in Tropical Maize Populations: II. Direct and Correlated Responses among Secondary Traits. *Crop Science*. 39 (5), 1315-1324.

COX, W. J. (1996): Whole-plant physiological and yield responses of maize to plant density. *Agronomy Journal*. 88, 486-496.

CROSS, H. Z. - ZUBER, M. S. (1972): Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. *Agronomy Journal*. 64, 351-355.

CSELŐTEI L. (1998): Az időjárás hatása a növények vízellátottságára és termésére. *Meteorológiai Tudományos Napok 1998*. OMSZ, Budapest. 7-14.

CSIRKOV, I. I. (1979): *Agrometeorologija*. Gidrometeoizdat, Leningrad.

CSOMOR M. - LAMBERT K. (1987): Mezőgazdasági növénykultúrák csapadékelátottsága a nyári hónapokban. Beszámolók az 1984-ben végzett tudományos kutatásokról. OMSZ, Budapest. 181-187.

DAVITAJA, F. F. (1948): *Klimatycseszkije zoni vinograde v SzSzSzR*. Gidrometeozdat, Leningrad.

DEBRECZENI B. - DEBRECZENI B.-NÉ (1983): A tápanyag- és a vízellátás kapcsolata. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

DELECOLLE, R. – RUGET, F. – RIPOCHE, D. – GOSSE, G. (1995): Possible effects of climate change on wheat and maize crops in France. In: Rosenzweig

, C. – Allen, L. H., Jr. – Harper, L. A. – Hollinger, S. E. – Jones, J. W. /szerk./: Climate change and agriculture: Analysis of potential international impacts. American Society of Agronomy. ASA Special Publication. No. 59. Madison, WI.

DEMETRIADES-SHAH, T. H. – FUCHS, M. – KANEMASU, E. T. –

FLITCROFT, I. (1992): A note of caution concerning the relationship between cumulated intercepted solar radiation and crop growth. *Agricultural and Forest Meteorology*. 58, 193-207.

DENMEAD, O. T. - SHAW, R. H. (1960): The effect of soil moisture stress at different stages of growth on development and yield of corn. *Agronomy Journal*. 52, 272-274.

DHANG THI, U.C. (1993): Az elmúlt 20 év reprezentatív kukorica hibridjeinek levélállás, levélfelület index változásai és összefüggése a terméssel. *Növénytermelés*. 42, 1-10.

DOMINGO, C. E.-ROBINS, J. S. (1953): Some effects of severe soil moisture deficits at specific growth stages in corn. *Agronomy Journal*. 45, 618-621. Cit.: Menyhért Z. /szerk./ (1985): A kukoricatermesztés kézikönyve. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

DUNCAN, W. G. - HESKETH, J. D. (1968): Net photosynthetic rates, relative leaf growth rates and leaf numbers of 22 races of maize grown at eight temperatures. *Crop Science*. 8, 670-674.

DUNKEL Z. (1984): Szántóföldi növények fejlődésének (tömeggyarapodásának) dinamikus (szimulációs) modellezése. Beszámolók az 1981-ben végzett tudományos kutatásokról. OMSZ, Budapest. 269-284.

DUVICK, D. N. – CASSMAN, K. G. (1999): Post-Green Revolution Trends in Yield Potential of Temperate Maize in the North-Central United States. *Crop Science*. 39 (6), 1622-1629.

DWYER, L. M. - STEWART, D. W. - CARRIGAN, L. - MA, B. L. - NEAVE, P. – BALCHIN, D. (1999a): A General Thermal Index for Maize. *Agronomy Journal*. 91 (6), 940-945.

DWYER, L. M. - STEWART, D. W. - CARRIGAN, L. - MA, B. L. - NEAVE, P. – BALCHIN, D. (1999b): Guidelines for Comparisons among Different Maize Maturity Rating Systems. *Agronomy Journal*. 91 (6), 946-949.

ELINGS, A. (2000): Estimation of Leaf Area in Tropical Maize - Trópusi kukorica levélfelületének becslése. *Agronomy Journal*. 92 (3), 436-444.

EVANS, L. T. – FISCHER, R. A. (1999): Yield Potential: its Definition, Measurement, and Significance. *Crop Science*. 39 (6), 1544-1551.

FAO PRODUCTION YEARBOOKS

FRÈRE M. - POPOV, G.F. (1979): Agrometeorological Crop Monitoring and Forecasting. FAO, No. 37.

GOODIN, D. G. - HUTCHINSON, J. M. S. - VANDERLIP, R. L. – KNAPP, M. C. (1999): Estimating Solar Irradiance for Crop Modeling Using Daily Air Temperature Data. *Agronomy Journal*. 91 (5), 845-850.

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

GREBENSCSIKOV, I. (1954): Mais als Kulturpflanze. A. Ziemsen Verlag, Wittenberg. Cit.: Menyhért Z. /szerk./ (1985): A kukoricatermesztés kézikönyve. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

GYÖRFFY B. – I SÓ I. – BÖLÖNI I. (1965): Kukoricatermesztés. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

GYÖRFFY B. – BERZSENYI Z. (1992): Martonvásári vetésforgó kísérlet 30 év termésadatának összesítése. In: Debreczeni B. /szerk./: Trágyázási kutatások 1966-90. Akadémiai Kiadó, Budapest.

HARNOS ZS. (1998): A klímaváltozás várható alakulása és hatása néhány gazdasági növény termesztetőségére. Meteorológiai Tudományos Napok 1997. OMSZ, Budapest. 55-65.

HAUN, J. R. (1983): Mathematical Models in Agrometeorology. WMO CAgM Report, No. 14. Geneva.

HEYNE, E. G.-LAUDE, H. H. (1940): Resistance of corn seedlings to high temperatures in laboratory tests. *Journal of American Society of Agronomy*. 32, 116-126. Cit.: Menyhért Z. /szerk./ (1979): Kukoricáról a termelőknek. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

HOWELL, T. A. - TOLK, J. A. - SCHNEIDER, A. D. – EVETT, S. R. (1998): Evapotranspiration, Yield and Water Use Efficiency of Corn Hybrids Differing in Maturity. *Agronomy Journal*. 90 (1), 3-9.

HUBBARD, K. G. – HANKS, R. J. (1983): Climate model for winter wheat yield simulation. *Journal of Climate and Applied Meteorology*. 22, 698-703.

HUELSEN, W. A. (1954): Sweet corn. Interscience Publishers Inc., New York.

HUNKÁR M. (1990): Az időjárás hatása a kukorica szárazanyag termelésének alakulására. Beszámolók az 1986-ban végzett tudományos kutatásokról. OMSZ, Budapest. 92-97.

JONES, H.G. (1983): Plants and Microclimate. Cambridge University Press, Cambridge. 323.

KÁDÁR F. - SZILÁGYI T. (1980): A kukorica get. ET-ja - Az éghajlati vízhiány és a terméseredmények alakulása. Beszámolók az 1978-ban végzett tudományos kutatásokról. OMSZ, Budapest. 156-166.

KAISER, H. M. – RIHA, S. J. – WILKS, D. S. – ROSSITER, D. G. – SAMPATH, R. (1993): A farm-level analysis of economic and agronomic impacts of gradual climate warming. *American Journal of Agricultural Economics*. 75, 387-398.

KAJDI F. (1998): Szója fajták produktivitásának, valamint egyes mennyiségi és minőségi mutatóinak változása öntözött és öntözetlen termesztés esetén. Doktori (PhD) értekezés, Keszthely.

KATZ, R.W. (1979): Sensitivity analysis of statistical crop-weather models. *Agricultural Meteorology*. 20, 291-300.

KERÉK J. (1934): Az időjárás befolyása az Alföldön a termés mennyiségére és minőségére. Budapest.

KÖVES P. - PÁRNICZKY G. (1981): Általános statisztika I-II. Közgazdasági és Jogi Kiadó, Budapest.

KRAVCHENKO, A. N. – BULLOCK, D. G. (2000): Correlation of Corn and Soybean Grain Yield with Topography and Soil Properties. *Agronomy Journal*. 92 (1), 75-91.

LAKATOS L. – SZÁSZ G. (1991): A légköri hatások szerepe a talajok N-szolgáltató képességének alakulásában. *Időjárás*. 95 (6), 289-300.

LAMBERT K.- VARGA-HASZONITS Z. - BUSSAY A. (1993): A csupasz talaj párologtatásának és nedvességtartalmának 100 évi adatsorai. Beszámolók az 1989-ben végzett tudományos kutatásokról. OMSz, Budapest, 144-153.

LÁNG G. (1976): Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

LAUER, J. G. - CARTER, P. R. - WOOD, T. M. - DIEZEL, G. - WIERSMA, D. W. - RAND, R. E. – MLYNAREK, M. J. (1999): Corn Hybrid Response to Planting Date in the Northern Corn Belt. *Agronomy Journal*. 91 (5), 834-839.

LAWLOR, D. W. – MITCHELL, R. A. C. (1991): The effects of increasing CO₂ on crop photosynthesis and productivity: a review of field studies. *Plant, Cell and Environment*. 14, 807-818.

LEGG, B.J. (1981): Aerial environment and crop growth. In: Rose, D. A. - Charles-Edwards, D. A. /szerk./: *Mathematics and Plant Physiology*. Academic Press, London, 129-149.

LERCH, G. (1980): *Pflanzenökologie*. Teil II. Akad. Verlag, Berlin.

LEWANDOWSKI, I. - HÄRDTLEIN, M. – KALTSCHMITT, M. (1999): Sustainable Crop Production: Definition and Methodological Approach for Assessing and Implementing Sustainability. *Crop Science*. 39 (1), 184-193.

LOOMIS, R. S. – AMTHOR, J. S. (1999): Yield Potential, Plant Assimilatory Capacity, and Metabolic Efficiencies. *Crop Science*. 39 (6), 1584-1596.

McMASTER, G. S. – WILHELM, W. W. (1998): Is Soil Temperature Better than Air Temperature for Predicting Winter Wheat Phenology? *Agronomy Journal*. 90 (5), 602-607.

MENYHÉRT Z. /szerk./ (1979): *Kukoricáról a termelőknek*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

MENYHÉRT Z. /szerk./ (1985): *A kukoricatermesztés kézikönyve*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

MENYHÉRT, Z. (1995): A felértékelődött kukoricatermesztés. *Agrofórum*. (5), 1-3.

MEZŐGAZDASÁGI STATISZTIKAI ZSEBKÖNYV és MEZŐGAZDASÁGI ÉLELMISZTER-IPARI STATISZTIKAI ZSEBKÖNYV évfolyamai (1951-95). Központi Statisztikai Hivatal, Budapest.

MINŐSÍTETT FAJTÁK KÍSÉRLETI EREDMÉNYEI (1997): Kukorica. Leíró
fajtajegyzék. Országos Mezőgazdasági Minősítő Intézet, Budapest.

MJELDE, J.W. (1989): Climate indices for application in empirical crop
production studies. *Agricultural System*. 30, 1-14.

MONTEITH, J. L. (1981): Does light limit crop production? In: C. E. Johnson
/szerk./: *Physiological processes limiting plant productivity*. Butterworths, London. 23-
37.

NIELD, R. E. – RICHMAN, H. N. (1981): Agroclimatic normals for maize.
Agricultural Meteorology. 24, 83-95.

NIELD, R. E. (1982): Temperature and rainfall influences on the phenology
and yield of grain sorghum and maize: a comparison. *Agricultural Meteorology*. 27, 79-
88.

PEIRIS, D. R. – CRAWFORD, J. W. – GRASHOFF, C. – JEFFERIES, R. A.
– PORTER, J. R. – MARSHALL, B. (1996): A simulation study of crop growth and
development under climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*. 79, 271-287.

PETHŐ M. (1993): *Mezőgazdasági növények élettana*. Második kiadás. Akadémiai
Kiadó, Budapest.

PINTÉR L. (1955): Az őszi búza termésátlagának összefüggése a főbb
meteorológiai tényezőkkel. *Időjárás*. 59 (4), 193-203.

PLETSEYER J. – SZALAI D. – ÁBRÁNYI A. (1980a): A kukorica vegetatív fejlődési
szakaszainak kapcsolata az időjárással. Beszámoló az 1978-ban végzett tudományos
kutatásokról. OMSZ, Budapest. 210-218.

PLETSEYER J. – SZALAI D. – ÁBRÁNYI A. (1980b): A kukorica generatív fejlődési
szakaszainak kapcsolata az időjárással. Beszámoló az 1978-ban végzett tudományos
kutatásokról. OMSZ, Budapest. 219-225.

POLEVOJ, A. N. (1983): *Teorija i raszcsot produktivnosztyi
szelszkohozjajsztvennih kultur*. Gidrometeoizdat, Leningrád, 105.

PRÉCSÉNYI I. (1980): *Produkcióbiológia*. In: Hortobágyi T. /szerk./:
Agrobotanika. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 517-526.

PRÉCSÉNYI I. – CZIMBER GY. – CSALA G. – SZŐCS Z. – MOLNÁR E. –
MELKÓ E. (1976): Studies on the growth analysis of maize hybrid (OSSK-218 and DK
XL-342). *Acta Bot. Acad. Sci. Hung.* 22, 185-200.

RÄHRIG, M. - STÜTZEL, H. – ALT, C. (1999): A Three-Dimensional Approach to Modeling Light Interception in Heterogeneous Canopies. *Agronomy Journal*. 91 (6), 1024-1039.

REDDY, S. J. (1995): Over-emphasis on energy terms in crop yield models. *Agricultural and Forest Meteorology*. 77, 113-120.

RIEDEL, W. E. - SCHUMACHER, T. E. - CLAY, S. A. - ELLSBURY, M. M. - PRAVECEK, M. – EVENSON, P. D. (1998): Corn and Soil Fertility Responses to Crop Rotation with Low, Medium, or High Inputs. *Crop Science*. 38 (2), 427-433.

RITTER, W. F. - BEER, C. E. (1969): Yield reduction by controlled flooding of corn. *Trans. ASAE*. 12, 46-50.

ROBERTSON, G.W. (1983): Guidelines on Crop-Weather Models. WMO World Climate Programme.

RUNGE, E. C. A. - ODELL, R. T. (1958): The relation between precipitation, temperature and the yield of corn on the Agronomy South Farm, Urbana, Illinois. *Agronomy Journal*. 50, 448-454.

RUNGE, E. C. A. – BENCI, J. F. (1975): Modeling corn production – estimating production under variable soil and climatic conditions. *Proc. 13th Annual Corn Sorghum Res. Conference*. 13, 194-214.

RUZSÁNYI L. (1992): A főbb növénytermesztési tényezők és a vízellátás kölcsönhatásai. Akadémiai doktori értekezés.

RUZSÁNYI L. (1998): Hidrometeorológiai szélsőségek növénytermesztési értékelése. *Meteorológiai Tudományos Napok 1998*. OMSZ, Budapest. 85-94.

SADLER, E. J. - BAUER, P. J. – BUSSCHER, W. J. (2000a): Site-Specific Analysis of a Droughted Corn Crop: I. Growth and Grain Yield. *Agronomy Journal*. 92 (3), 395-402.

SADLER, E. J. - BAUER, P. J. - BUSSCHER, W. J. – MILLEN, J. A. (2000b). Site-Specific Analysis of a Droughted Corn Crop: II. Water Use and Stress. *Agronomy Journal*. 92 (3), 403-410.

SAKAMOTO, C. M. (1981): The Technology of Crop-Weather Modelling. *Food Climate Interaction*. 383-398.

SELLSCHOP, J. P. F.- SALMON, S. C. (1928): The influence of chilling, above the freezing point, on certain crop plants. *Jour. Agr. Res.* 37, 325-338. Cit.: WILSIE, C. P. (1969): A termesztett növények alkalmazkodása és elterjedése a Földön. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

SEVELUHA, V. Sz. (1985): A mezőgazdasági növények növekedésének szakaszossága és a szabályozás lehetőségei. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

SHAW, R. H. (1955): Climatic Requirement. In: Sprague, G. F. /szerk./: Corn and Corn improvement. Academic Press Inc., New York. Cit.: Bölöni I. - Györfly B. - I'so I. (1965): Kukoricatermesztés. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

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

SHAW, R. H. (1977): Climatic Requirement. In Sprague, G. F. /szerk./: Corn and Corn improvement. Amer. Soc. Agron. Inc. Publisher. Madison, Wisconsin. Cit.:

Menyhért Z. /szerk./ (1985): A kukoricatermesztés kézikönyve. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

SINCLAIR, T. R. (1998): Historical Change in Harvest Index and Crop Nitrogen Accumulation. *Crop Science*. 38 (3), 638-643.

SINGER, J. W. - COX, W. J. (1998): Corn Growth and Yield under Different Crop Rotation Tillage, and Management Systems. *Crop Science*. 38 (4), 996-1003.

SPITTERS, C. J. T. (1990): Crop growth models: Their usefulness and limitations. *Acta Horticulture*. 349-368.

STEWART, D. W. – DWYER, L. M. (1999): Mathematical Characterization of Leaf Shape and Area of Maize Hybrids. *Crop Science*. 39 (2), 422-427.

STOCKLE, C. O. – DYKE, P. T. - WILLIAMS, J. R. – JONES, C. A. – ROSENBERG, N. J. (1992): A method for estimating the direct and climatic effects of rising atmospheric carbon dioxide on growth and yield of crops: Part II – Sensitivity analysis at three sites in the midwestern USA. *Agricultural Systems*. 38, 239-256.

SURÁNYI J. (1957): A kukorica és termesztése. Akadémiai Kiadó, Budapest.

SVÁB J. (1979): Többváltozós módszerek a biometriában. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

SZÁSZ G. (1971): A természetes csapadékviszonyokra épülő növénytermesztés agrometeorológiai kérdései Magyarországon. MTA X. Osztályának Közleményei. 2-4, 187-198.

SZÁSZ G. (1981): Az időjárási folyamatok és a termés közötti kapcsolat modellezésének alapjai. *Időjárás*. 85 (6), 334-345.

SZÁSZ G. (1997): Szántóföldi növényállományok mikroklimája. In: Szász G. – Tőkei L. /szerk./: Meteorológia mezőgazdáknek, kertészeknek, erdészeknek. Mezőgazda Kiadó, Budapest.

SZÁSZ G. (1998): A természetes vízellátottság szerepe a főbb növények növekedésének és termésének mennyiségi, minőségi alakulásában. *Meteorológiai Tudományos Napok 1998*. OMSZ, Budapest. 29-45.

SZIROTYENKO, O. D. (1981): Matyematyicseszkoje modelirovanyije vodno-tyeplovo rezsima i produktivnosztyi agroekoszisztém. *Gidrometeoizdat*, Leningrád.

SZLOVÁK S. (1979): A kukorica transzspirációjának és evapotranszspirációjának vizsgálata. Kandidátusi disszertáció, Budapest.

SZLUHAJ, SZ. I. (1974): Vodnűj rezsím i mineralnoe pitanie kukuruzű. *Izd. Nauk Dumka*, Kiev.

THOMPSON, L. M. (1966): Regional weather relations. In: *Advances in corn Production*. Iowa State University Press, Ames. 143-154.

THOMPSON, L. M. (1986): Climatic change, weather variability and corn production. *Agronomy Journal*. 78, 649-653.

TOLK, J. A. - HOWELL, T. A. – EVETT, S. R. (1998): Evapotranspiration and Yield of Corn Grown on Three High Plains Soils. *Agronomy Journal*. 90 (4), 447-454.

TOLLENAAR, M. - AGUILERA, A. (1992): Radiation use efficiency of an old and a new maize hybrid. *Agronomy Journal*. 84, 536-541.

TOLLENAAR, M. – WU, J. (1999): Yield Improvement in Temperate Maize is Attributable to Greater Stress Tolerance. *Crop Science*. 39 (6), 1597-1603.

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

TREWARTHA, G. T. (1954): An introduction to climate. McGraw-Hill Book Company, New York - Toronto – London.

USZTIMENKO - BAKUMOVSKIJ, G. V. (1980): Rasztenievodszto tropikov i szubtropikov. Izd. "Kolosz", Moszkva.

VAN BEEM, J. - SMITH, M. E. – ZOBEL, R. W. (1998): Estimating Root Mass in Maize Using a Portable Capacitance Meter. *Agronomy Journal*. 90 (4), 566-570.

VAN EVERT, F. K. - SPAANS, E. J. A. - KRIEGER, S. D. - CARLIS, J. V. – BAKER, J. (1999a): A Database for Agroecological Research Data: I. Data Model. *Agronomy Journal*. 91 (1), 54-62.

VAN EVERT, F. K. - SPAANS, E. J. A. - KRIEGER, S. D. - CARLIS, J. V. – BAKER, J. M. (1999b): A Database for Agroecological Research Data: I. A Relational Implementation. *Agronomy Journal*. 91 (1), 62-71.

VARGA-HASZONITS Z. (1977): Agrometeorológia. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

VARGA-HASZONITS Z. (1981): A növények termesztetőségének agroklimatológiai feltételei. Beszámolók az 1979-ben végzett tudományos kutatásokról. OMSZ, Budapest. 45-51.

VARGA-HASZONITS Z. (1986): A multiplikatív időjárás-termés modellek elvi-módszertani alapjai. Beszámolók az 1983-ban végzett tudományos kutatásokról. OMSZ, Budapest, 155-164.

VARGA-HASZONITS Z. (1987): Agrometeorológiai információk és hasznosításuk. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

VARGA-HASZONITS Z. (1997): Agrometeorológia. PATE Mezőgazdaságtudományi Kar, Mosonmagyaróvár.

VARGA-HASZONITS Z. (1998): Agrometeorológiai gyakorlatok. Második, bővített kiadás. PATE Mezőgazdaságtudományi Kar, Mosonmagyaróvár.

VARGA-HASZONITS Z. - TÖLGYESI L. (1990a): Alapvető agroklimatológiai jellemzőértékek meghatározásának módszerei. Tanulmány. Budapest.

VARGA-HASZONITS Z. - TÖLGYESI L. (1990b): A globális sugárzás és a fotoszintetikusan aktív sugárzás számítása rövid időszakokra. Beszámolók az 1986-ban végzett tudományos kutatásokról. OMSZ, Budapest. 83-106.

VARGA-HASZONITS Z. - LAMBERT K. - BUSSAY A. (1992a): Éghajlat, éghajlatingadozás és mezőgazdasági termelés. Beszámolók az 1988-ban végzett tudományos kutatásokról. OMSZ, Budapest. 222-232.

VARGA-HASZONITS Z. – BUSSAY A. - LAMBERT K. (1992b). Éghajlat, éghajlatingadozás és a növények. Beszámoló az 1988-ban végzett tudományos kutatásokról. 233-242.

VARGA-HASZONITS Z. – SCHMIDT R. – MIKÉNÉ HEGEDŰS F. (1994): Az éghajlati változékonyság és a gazdasági növények. Növénytermelés. 43 (6), 485-497.

VARGA-HASZONITS Z. - PORPÁCZY A. - SCHMIDT R. (1996): Agroclimatological analysis of natural periods and growing seasons. Időjárás, 100, (1-3), 207-218.

VARGA-HASZONITS Z. - VARGA Z. - SCHMIDT R. - LANTOS ZS. (1997): The effect of climatic conditions on maize production. Acta Agronomica Óváriensis. 39 (1-2), 1-14.

VARGA-HASZONITS Z. - VARGA Z. - LANTOS ZS. - KAJDI F. - VÁMOS O. (1998a): A kukorica vízellátottsági viszonyainak éghajlati elemzése 110 éves éves adatsorok alapján. Acta Agronomica Óváriensis. 40 (1), 37-50.

VARGA-HASZONITS Z. - VARGA Z. - LANTOS ZS. - KAJDI F. - VÁMOS O. (1998b): A meteorológiai tényezők szerepe a kukorica termésstabilitásának alakulásában. Acta Agronomica Óváriensis, 40 (1), 27-35

VARGA-HASZONITS Z. - VARGA Z. (1998): A meteorológiai tényezők hatása a kukorica fenofázisainak tartamára. Növénytermelés. 47 (5), 503-512.

VARGA-HASZONITS Z. – VARGA Z. (1999): Agroklimatológia (Éghajlat és növénytermesztés). Mosonmagyaróvár.

VARGA-HASZONITS Z. - VARGA Z.- LANTOS ZS.- VÁMOS O. (1999a):
Hazánk hőmérsékleti és csapadékviszonyainak elemzése 110 évi adatsorok alapján.
Acta Agronomica Óváriensis. 41 (1), 75.-88.

VARGA-HASZONITS Z. -VARGA Z. -LANTOS ZS. -SCHMIDT R. -VÁMOS O.
(1999b): A fontosabb gazdasági növények sugárzáshasznosítása. *Növénytermelés*. 48
(2), 189.-197.

VARGA-HASZONITS Z. - VARGA Z. - VÁMOS O. - LANTOS ZS. - SCHMIDT
R. - BUSSAY A. (2000a): Az 1951-90 közötti időszak termikus jellemzőinek
agroklimatológiai elemzése. *Acta Agronomica Óváriensis*. 42. (2), (megjelenés alatt)

VARGA-HASZONITS Z. - VÁMOS O. - VARGA Z. - LANTOS ZS. - SCHMIDT
R. - BUSSAY A. (2000b): Az 1951-90 közötti időszak nedvességi jellemzőinek
agroklimatológiai elemzése. *Acta Agronomica Óváriensis*. 42 (2), (megjelenés alatt)

VARGA Z. (1996): Az éghajlati változékonyság hatása a kukorica termesztésére.
Szakdolgozat, Mosonmagyaróvár.

VARGA Z. (1997): A nedvességi tényezők hatása a kukorica termés hozamaira.
Egyetemi Meteorológiai Füzetek. Budapest. No. 9. 41-44.

VARGA Z. (1998): The effect of climatic conditons on maize production. ICA
Summer School on Agricultural Challenges and EU Enlargement 1997.
Mosonmagyaróvár. 171-174.

VARGA Z. (1999): A kukorica (*Zea mays* L.) vegetációs periódusa alatti
meteorológiai viszonyok összehasonlító vizsgálata. *Acta Agronomica Óváriensis*. 41
(1), 61.-73.

VARGA Z. - VARGA-HASZONITS Z. - LANTOS ZS. (2001): A kukorica hőmérsékleti és nedvességi igényének meghatározása a terméshozamokra gyakorolt hatás alapján. Növénytermelés. (megjelenés alatt)

VINCENT, G. B. - WOOLEY, G. D. (1972): Effect of moisture stress at different stages of growth: II. cytoplasmic male-steril corn. Agronomy Journal. Madison. 64, 599-602.

YULE, G. U. - KENDALL, M. G. (1964): Bevezetés a statisztika elméletébe. Közgazdasági és Jogi Kiadó, Budapest.

WAREING, P. F. – PHILIPS, I. D. J. (1982): Növényi növekedés élettan. Natura. Budapest.

WHITEHEAD, F. H. (1957): Wind as a factor in plant growth. In: Hudson, J. P. /szerk./: Control of the Plant Environment. Academic Press, New York.

WILHELM, E. P. - MULLEN, R. E. - KEELING, P. L. – SINGLETARY, G. W. (1999): Heat Stress during Grain Filling in Maize: effects on Kernel Growth and Metabolism. Crop Science. 39 (6), 1733-1740.

ZUBER, M. S. - DECKER, W. L. (1956): Effects of 1954 drouth on corn. Mo. Agricultural Experiment Station Research Bulletin. 604.