10.13147/NYME.2013.018

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

ENZSÖLNÉ GERENCSÉR ERZSÉBET

MOSONMAGYARÓVÁR
2013.

10.13147/NYME.2013.018

NYUGAT-MAGYARORSZÁGI EGYETEM
MEZŐGAZDASÁG- ÉS ÉLELMISZERTUDOMÁNYI KAR
MOSONMAGYARÓVÁR

"PRECÍZIÓS NÖVÉNYTERMESZTÉSI MÓDSZEREK" ALKALMAZOTT NÖVÉNYTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezető:
Dr. Neményi Miklós, az MTA levelező tagja, egyetemi tanár

NÖVÉNYVÉDELMI MÓDSZEREK ÉS NÖVÉNYKEZELÉSEK PRECÍZIÓS TERMELÉSORIENTÁLT INTEGRÁLÁSA PROGRAM

Programvezető:
Dr. Reisinger Péter, CSc
egyetemi tanár

Témavezető:
Dr. Varga-Haszonits Zoltán, DSc
professor emeritus

AZ ÉGHAJLATI VÁLTOZÉKONYSÁG HATÁSA AZ ŐSZI ÁRPA TERMESZTÉSÉRE

Írta:
Enzsölné Gerencsér Erzsébet

Mosonmagyaróvár
2013.

10.13147/NYME.2013.018

AZ ÉGHAJLATI VÁLTOZÉKONYSÁG HATÁSA AZ ŐSZI ÁRPA TERMESZTÉSÉRE

Írta:
Enzsölné Gerencsér Erzsébet

Készült a Nyugat-Magyarországi Egyetem
Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar
"Precíziós növénytermesztési módszerek" Alkalmazott Növénytudományi Doktori Iskola
Növényvédelmi módszerek és növénykezelések precíziós termelésorientált integrálása programja keretében

Témavezető: Dr. Varga-Haszonits Zoltán

Elfogadásra javaslom (igen / nem)
(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton ……....%-ot ért el,

Mosonmagyaróvár, ……
……
a Szigorlati Bizottság Elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen / nem)

Első bíráló (Dr. ……) igen / nem
(aláírás)

Második bíráló (Dr. …….) igen / nem
(aláírás)

Esetleg harmadik bíráló (Dr. ……) igen / nem
(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján ……%-ot ért el.

Mosonmagyaróvár, ……...
A Bírálóbizottság elnöke
Doktori (PhD) oklevél minősítése……

Az EDT elnöke

10.13147/NYME.2013.018

TARTALOMJEGYZÉK

KIVONAT 5

ABSTRACT 6

BEVEZETÉS 7

1. AZ ÉGHAJLAT ÉS AZ ŐSZI ÁRPA KÖZÖTTI KAPCSOLAT JELLEMZÉSE 11

2. ANYAG ÉS MÓDSZER 26

3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK 43

3.1. AZ ŐSZI ÁRPA TENYÉSZIDŐSZAKÁNAK AGROKLIMATOLÓGIAI JELLEMZÉSE 43

3.1.1 Az őszi árpa fenofázisainak statisztikai jellemzői 43

3.1.2 Az őszi árpa termesztésének éghajlati feltételrendszere 50

3.1.3 Természetes időszakok 66

3.2 AZ ÉGHAJLATI VÁLTOZÉKONYSÁG HATÁSA AZ ŐSZI ÁRPA FENOFÁZISAIRA 71

3.2.1 a meteorológiai viszonyok és a növényfejlődés 71

3.2.2 Az érés időpontjának előrejelzése 82

3.3 AZ ÉGHAJLATI VÁLTOZÉKONYSÁG HATÁSA AZ ŐSZI ÁRPA TERMÉSHOZAMÁRA 89

3.3.1 Érzékenységi vizsgálatok 89

3.3.2 A domináns hatótényezők kiválasztása 91

3.3.3 Évszakos és havi adatokra épülő elemzés 92

3.3.4 A dekád adatokra épülő modell 98

3.4 AZ ŐSZI ÁRPA ÉGHAJLATI TERMÉSPOTENCIÁLJA 108

3.4.1 Az őszi árpa sugárzáshasznosítása 108

3.4.2 Az őszi árpa vízhasznosítása 113

4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK 120

5. ÚJ VAGY ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK (TÉZISEK) 123

IRODALOMJEGYZÉK 125

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS 144

10.13147/NYME.2013.018

KIVONAT

Az őszi árpa, mint fontos takarmánynövényünk, lényeges szerepet játszik az élelmiszertermelésben. Egy esetleges éghajlatváltozás befolyásolhatja termeszthetőségét. Ezért megvizsgáltuk, hogy hazánkban az éghajlati környezet, amelyben az őszi árpa fejlődik, mennyire felel meg a növény éghajlati igényeinek, s az hogyan befolyásolja fejlődését és a terméshozamát.

A fejlődésvizsgálatok során azt tanulmányoztuk, hogy a meteorológiai elemek milyen hatással vannak az egyes fenofázisok tartamára és a fejlődés ütemére. A hatásvizsgálatokat elvégeztük az egész vegetációs periódusra is.

Tanulmányoztuk az árpa vízigényét, vízellátottságát és vízhasznosítását, valamint sugárzáshasznosítását. Az éghajlati körzetesítés meghatározása szempontjából fontos az éghajlati potenciál elemzése.

Egy fokozatos közelítésű modellt dolgoztunk ki az éghajlat szemtermésre gyakorolt hatásának meghatározása céljából, amellyel az őszi árpa termésének előrejelezhetőségét tanulmányoztuk.

A kutatás során az éghajlati viszonyoknak mind az időbeli, mind pedig a térbeli változékonyságát figyelembe véve végeztük el a hatásvizsgálatot. A növekvő üvegházhatás miatt egy esetleges éghajlatváltozásnak az őszi árpára gyakorolt hatásával is foglalkoztunk, ez pedig a takarmányozás lehetőségeinek a jövőbeli alakulásához jelent éghajlati hátteret.

10.13147/NYME.2013.018

ABSTRACT

Winter barley, as an important fodder crop, plays an important role in food production. A possible climate change can influence its productivity. Therefore we have examined the optimal climatic conditions for winter barley growth in Hungary and we studied how much that environment meets the needs of the plant and what effect it has on the growth and yield of that crop.

Winter barley development studies focused on the impacts of weather elements on the length of phenological phase and on the rate of development phase. Impact analyses were performed also for the whole growing season.

Water demand, water supply, water and radiation utilization of barley have been studied. Climatic potential is important for agroclimatic classification.

A multiplicative successive procedure based on the residual method has been developed with the aim of determining the effect of climate on the yield. It can be used for forecasting of winter barley yield**.**

Impact studies were performed by taking the temporal and spatial variability of climatic conditions into consideration. Also increasing greenhouse effect caused by a possible climate change was analyzed in the case of our test crop. Our studies can help to work out the climatic background for the future possibilities of forage production.

10.13147/NYME.2013.018

“ …És ételedet árpalepény formájában egyed. „

Ezékiel könyve 4:12

BEVEZETÉS

Az élelmiszertermelés lehetőségének tanulmányozása az utóbbi évtizedekben egyre jelentősebb szerepet kap a tudományos kutatásokban.

Ennek egyik oka az, hogy a Föld lakossága rohamosan növekszik, s a megfelelő mennyiségű és minőségű élelmiszer előállítása az élelmiszertermelő országok számára egyre nagyobb kihívást jelent.

A másik sürgető ok pedig az, hogy a környezeti viszonyokban az utóbbi évtizedekben jelentős változás következett be. Az elmúlt mintegy másfél évszázadot erőteljes ipari tevékenység jellemezte, aminek következtében (pl. üvegházhatású gázok légköri felhalmozódásának hatására) a Föld középhőmérséklete fokozatos emelkedést mutat. Felmerült tehát annak a lehetősége, hogy bekövetkezik az éghajlat világméretű változása (pl. lokálisan vagy globálisan módosul az éghajlat, eltolódnak az éghajlati övezetek), ami komoly hatást gyakorolna az élelmiszertermelésre is *(Sun et al., 2009)*. Szükségessé válhat, hogy a mezőgazdasági termelés struktúráját (ha fokozatosan is) a változó termelési feltételekhez igazítsák.

A Föld lakosságának növekedésével nő tehát annak élelmiszerszükséglete is. A növénytermelés szempontjából ez azt jelenti, hogy biztosítani kell a növényi eredetű élelmiszereket, valamint meg kell termelni a haszonállatok számára szükséges takarmánynövényeket.

Szükségessé vált ezért a termőterületek ökológiai potenciáljának feltárása *(Láng, 1980)*. E célból vizsgálni kell azt a környezetet, amelyben a növénytermelés folyik, hogy lehetővé váljon nagyobb terméshozamok elérése nagyobb biztonsággal, valamint újabb, nagyobb termelékenységű fajták termesztésbe vétele. *Jolánkai et al., (1999)* szerint különösen szoros a kapcsolat az "évhatás" és a növények tápanyag ellátottsága, ill. termése között. A ma modern mezőgazdaságában az emberi tevékenység hatására fellépő kedvezőtlen éghajlat-, talaj-, és növény-ökológiai változások jelentőségét kell kiemelni, amelyek veszélyeztetik a fenntartható talajtermékenység és növénytermesztés

megvalósítását a jövőben (*Antal és Szesztay, 1995; Katz és Brown, 1992; Jolánkai, 2005; Jolánkai et al., 2003; Antal, 2003; Varga-Haszonits et al., 2006b*)

Alapvetően kétféleképpen fokozható a termelendő élelmiszer mennyisége. A termelésbe bevont területek nagyságának növelésével, amelyre napjainkban viszonylag kevés lehetőség van, vagy pedig a termelés intenzitását (a terméshozamokat) fokozva.

A fejlett mezőgazdasági termeléssel rendelkező országok tapasztalatai alapján több lehetőség is kínálkozik annak érdekében, hogy a magasabb terméshozamok elérhetőek legyenek:

a) Olyan bőtermő fajtákat kell kinemesíteni, amelyek jól alkalmazkodnak a megváltozott ökológiai viszonyokhoz, és ellenállóak a kedvezőtlen hatásokkal szemben.

b) Hatékonyan, de lehetőleg környezetkímélő módon kell védekezni a gyomok, a kórokozók és a kártevők ellen.

c) Megfelelő talajműveléssel meg kell őrizni, sőt növelni kell a talaj termőképességét (vetésforgók, trágyázás, talajborítottság stb.).

d) Ki kell használni az időjárás kedvező adottságait, és a lehető leghatékonyabban el kell hárítani annak kedvezőtlen hatásait.

Az intenzív gazdálkodás összes feltétele (közvetlenül, vagy közvetett úton) kapcsolódik a termőterület meteorológiai viszonyaihoz, hiszen sem a bőtermő fajták kinemesítésénél, sem pedig az agrotechnikai eljárások kiválasztásánál nem lehet eltekinteni attól, hogy az adott termőterületen milyen meteorológiai viszonyok uralkodnak, sőt a növényi kártevők és kórokozók elleni hatékony védekezés megszervezése is csak megfelelő meteorológiai ismeretek birtokában lehetséges. A d) pont pedig teljes egészében arra utal, hogy milyen fontos áttekinteni a mezőgazdasági termelés és a meteorológia kapcsolatát. A napjainkban tapasztalt éghajlati ingadozások időszakában különösen fontos annak tanulmányozása, hogy maximálisan kihasználva a kedvező időjárási hatásokat, illetve a káros hatások legnagyobb mértékű elhárítása esetén mekkora a várható maximálisan lehetséges terméshozam.

A fentiek ismeretében célszerűnek látszik megvizsgálni azt, hogy termesztett fontos gazdasági növényeink - így köztük második legjelentősebb takarmánynövényünk, az őszi árpa - milyen agroklimatológiai jellemzőkkel bírnak. A növény választását az indokolja, hogy az árpa mind a vetésterület, mind pedig a termés mennyisége alapján hazánkban a negyedik helyet foglalja el a FAO 2011-es adatai szerint (**1., 2. táblázat)**.

1. táblázat A Magyarországon termesztett növények sorrendje a termőterület nagysága szerint 2011-ben

Sorszám	Növény	A termőterület nagysága hektárban
1	Kukorica	1230000
2	Búza	978000
3	Napraforgó	579548
4	Árpa	261000
5	Burgonya	21000
6	Cukorrépa	15000

FAOSTAT | © FAO Statistics Division 2012 | 13 July 2013

2. táblázat A Magyarországon termesztett növények sorrendje a termés mennyisége szerint 2011-ban

Sorszám	Növény	Termés (t)
1	Kukorica	7992000
2	Búza	4107000
3	Napraforgó	1374780
4	Árpa	988000
5	Cukorrépa	856000
6	Burgonya	600000

FAOSTAT | ©FAO Statistics Division 2012 | 13 July 2013

A célkitűzés megfogalmazása

Annak ellenére, hogy számos őszi árpára vonatkozó publikáció látott napvilágot (*Mándy, 1966; Szakály, 1968; Kajdi és Pécsi, 1993; Tomcsányi és Kismányoki, 1995; Schmidt et al., 1996; Kajdi, 1997; Kismányoky, 1997; Palágyi 2002; Tomcsányi, 2003; Tomcsányi és Turcsányi, 2004; Varga-Haszonits et al., 2006a)* a növény agroklimatológiai bemutatása nem szerepel közöttük.

Ezért megvizsgáltuk, hogy hazánk éghajlata mennyire felel meg az őszi árpa éghajlati igényeinek, s hogyan hatnak hazánk éghajlati viszonyai a növény fejlődésére és termésre.

Az éghajlat őszi árpára gyakorolt hatásának kutatását azzal kezdtük, hogy elemeztük, milyen az az éghajlati környezet, amelyben az árpa fejlődik (*Varga-Haszonits et al., 2005b, 2005c; 2007; 2008).* Ezután azt tanulmányoztuk, hogyan hatnak a meteorológiai elemek az árpa fejlődésére *(Enzsölné, 2009)*. A fejlődésvizsgálatok során egyrészt azt is tanulmányoztuk, hogy a meteorológiai elemek milyen hatással vannak az egyes fenofázisok tartamára és a fejlődés ütemére *(Enzsölné, 2007)*, másrészt a hatásvizsgálatokat a vegetációs periódus egészére vonatkozóan is elvégeztük *(Varga-Haszonits et al., 2005a)*.

A növények életében – különösen a termés kialakulásában – kiemelkedő szerepet játszik a víz és a sugárzás, emiatt tanulmányoztuk az árpa vízigényét, vízellátottságát és vízhasznosítását (*Varga-Haszonits et al., 2008, 2010a, 2011*) valamint sugárzáshasznosítását is *(Lantos et al., 2010)*. Ez a kutatás az éghajlati terméspotenciál meghatározása és az éghajlati körzetesítés megvalósítása szempontjából volt nélkülözhetetlen.

Az éghajlat szemtermésre gyakorolt hatásának meghatározása céljából dolgoztunk ki egy fokozatos közelítésű modellt, amellyel az őszi árpa termésének előrejelezhetőségét vizsgáltuk *(Enzsölné et al., 2011; Varga-Haszonits et al., 2010b)*.

10.13147/NYME.2013.018

1. AZ ÉGHAJLAT ÉS AZ ŐSZI ÁRPA KÖZÖTTI KAPCSOLAT JELLEMZÉSE

A növény származása

Az árpát az emberiség ősidők óta termeszti. A történeti Közel-Keleten és a mai Törökország területén már 8000-10000 évvel ezelőtt termesztették. A folyamvölgyi kultúrákban, az ókorban az öntözéses gazdálkodás miatt bekövetkezett szikesedést jobban bírta, mint a búza, így válhatott uralkodó termesztett gabonafélévé. Nagyjából az időszámításunk kezdetétől – a búza jobb beltartalmi és sütőipari tulajdonságai miatt, a fejlettebb tetraploid és hexaploid búzák megjelenése után - az emberi táplálkozásból fokozatosan kiszorult, megmaradt azonban a jelentősége a sörgyártásban és az állatok takarmányozásában. Kínában 4000-5000 éve vonták be a termesztésbe *(Zohary és Hopf, 2000)*.

Európában a neolitkor óta termesztik, termőterülete 6000-7000 évvel ezelőtt már a Pireneusi-félszigetig terjedt *(Szkazkin, 1979)*. A magyarországi neolitikum kezdete és az atlantikus klímafázis kezdete egybeesett *(Ferenczy, 1958)*, amikor is megváltozott a növénytermesztés szempontjából kedvezőtlen meleg, száraz, szélsőséges időjárás. Az új, szubmediterránhoz hasonló meleg és humid klíma miatt a Kárpát-medencének hídszerepe volt abban, hogy a Közel-Kelet „termékeny félhold”-nak nevezett vidékéről a növénytermesztési ismeretek Közép-Európába jussanak. Ebben a korban az árpa volt az itt élők legfontosabb gabonaféléje. A neolitikum végén az addigi kedvező, szélsőségektől mentes időjárás fokozatosan rosszabbra fordult. A rézkor első felében a neolitikumban kialakult gazdálkodó életmód megváltozott, a növénytermesztés jelentősége visszaesett, mivel a klíma hűvösebbre és csapadékosabbra fordult. Az árpa termesztése azonban még ilyen körülmények között is lehetséges volt. Változás csak a klíma javulásával a késő rézkorban következett be. A régészetileg bronzkornak nevezett időszakot szubboreális fázisnak nevezzük (*Willerding, 1983*). Ekkor a

kezdetben hűvös és csapadékos időjárás a korszak közepére szárazabbá vált.

A késő bronzkorral újabb klímaváltozás következett be. A kenyérgabonák közül leginkább az alakor búzát (*Triticum monococcum ssp. monococcum*), vagyis egyszemű búzát termesztették, de megmaradt az árpa jelentősége is *(Gyulai, 2004).*

I. e. 800-600 táján a jelenkor, a szubatlantikus fázis kezdődött el és ez tart napjainkban is. A klíma szárazabb lett, felerősödött a kontinentális jelleg. A római korban megváltozott a növénytermesztés jellege. Az árpa jelentősége a korábbi korokhoz képest csökkent.

A honfoglalást követő néhány évszázadban volt az elmúlt két évezred legmelegebb időszaka. A középkori lelőhelyvizsgálatokból arra lehet következtetni, hogy az árpa a harmadik, negyedik legfontosabb termesztett gabonafélénk volt *(Torma, 1996).*

Az árpatermesztés jelenlegi északi határa - hasonlóan az őszi búzáéhoz - valamivel a 60. szélességi kör felett van. Ezeken a területeken azonban már csak a rövid tenyészidejű tavaszi fajták teremnek. Itt az árpa a legfontosabb kenyérgabona. Délen még az egyenlítő környékén is termesztik.

Az őszi árpa a hűvösebb éghajlat növénye. Mivel éréséhez nem kíván nagyobb meleget, ezért június második felében már aratható, elsőként a gabonafélék közül. Az ország egész területén sikeresen termeszthető, a kivételt talán csak az ország leghidegebb északi területei jelentik.

Az őszi árpa termesztése hazánkban a múlt században vált általánossá. A tavaszi, úgynevezett sörárpa agrotechnikáját Cserháti Sándor alapozta meg az 1900-as évek elején.

E termesztés- és klímatörténeti tapasztalatok azt sugallják, hogy a növény jól alkalmazkodik a folytonosan változó éghajlati környezet nagyobb ingadozásaihoz is, de azok jelentékenyen befolyásolják a termesztés eredményességét.

A növény éghajlati igényei

Kutatásunkat azzal célszerű kezdeni, hogy megvizsgáljuk, hazánk éghajlata mennyire felel meg az őszi árpa éghajlati igényeinek, s hogyan hatnak hazánk éghajlati viszonyai a növény fejlődésére és a terméshozamaira.

Hőmérsékleti viszonyok

Az őszi árpa a hűvösebb klímaigényű növények közé sorolható *(Varga-Haszonits, 1987a).*

A gabonák közül az őszi árpa a legérzékenyebb a vetésidőre *(Kismányoky, 1996*). Hazánkban az őszi árpa optimális vetésideje október 5-15. közé tehető, ami praktikusan azt jelenti, hogy célszerű a búzával együtt vetni *(Tomcsányi, 2003).*

Az árpa csírázása *Lőrinc (1984)* szerint 1-3 illetve *Briggs (1978)* szerint 5 ^{o}C hőmérsékleten kezdődik el és gyorsul egészen az optimális 20-23 ^{o}C, illetve 29 ^{o}C-ig. A csírázási hőmérséklet maximális értéke 32 ^{o}C, illetve 38 ^{o}C-nál van, 40 ^{o}C-on leáll. Az anyanövényt ért klimatikus hatások nincsenek befolyással a magok csírázási hőmérsékletére *(Mándy, 1966).* Másfelől, ha a csírázóképességet a termésfejlődés korai szakaszában vizsgáljuk, akkor fokozott hőérzékenységet lehet megfigyelni az alacsonyabb hőmérsékleti körülmények között fejlődő növények szemtermésein *(Rauber, 1986).*

A bokrosodás már 5-7, az érés 18-20 ^{o}C-on bekövetkezik *(Kismányoky, 1997).* A fotoszintézis optimális hőmérséklete 10 és 20 ^{o}C között van *(Fukai et al., 1976).* Ez az optimum valószínűleg függ a növény korától és a hőmérséklet alakulásától *(Kernich et al., 1995).*

Az őszi árpának már ősszel kellő mértékben bokrosodnia kell, mert tavasszal korán hajt szárba *(Grábner, 1956).* A környezeti tényezők (pl. vetésidő, klimatikus tényezők) befolyással vannak a bokrosodás mértékére, a mellékhajtások számára *(Tomcsányi, 2004).*

Hazai viszonyok között az őszi árpa melegebb márciusban jobban fejlődik, de áprilistól a viszonylag hűvösebb időjárást szereti *(Varga-Haszonits et al. 1996).*

Az árpalevelek felületének növekedése (kiterülése) arányos a hőmérséklet emelkedésével, de a CER (CO_2 kicserélődési ráta) kevéssé függ a levélfelülettől *(Berdahl et al., 1972).* A levélfelület idex (LAI) csökken a virágzás után. Ez a csökkenés meleg, napos, szárazabb időben gyors, nedvesebb, hűvösebb időben lassabb *(Biscoe és Gallagher, 1977).*

A zárva, vagy nyitva virágzás mértéke függ a genotípus és a környezeti tényezők kölcsönhatásától.A meleg, száraz idő kedvez a nyílt virágzásnak *(Kismányoky, 1997).* Ehhez kb. 20-25 ^{o}C hőmérséklet kell *(Kolosova et al., 1990).* A kalászonkénti nagy szemszámot és a szemtömeget alapvetően meghatározzák a virágzás utáni időjárási viszonyok, valamint a virágzástól a kalászolásig tartó fázis hossza. Ennek

kellő hosszúságúnak kell lennie. A nyitva virágzásnak kedvezőbb években a termésátlagok is nagyobbak. A hűvös, nedves idő elősegíti, hogy az árpa zártan virágozzon *(Sági, 2004)*.

A virágzás ütemét nagymértékben befolyásolja a fajtajelleg, az évjárat és az állománysűrűség *(Faris és Klink, 1982)*. Mivel a napos, meleg idő felgyorsítja a virágzást, ezért a hűvös, nyirkos időben erősebben jelentkeznek a fajták közötti különbségek *(Karsai, 2004)*. Egy bizonyos (fajtától függő) hőmérséklet felett a hőmérséklet növelése gyorsítja a virágzást. A virágzás általában 7-9 napig tart. *(Ellis et al., 1988)*.

A nappalhossz változásaira kevésbé érzékeny őszi árpa fajták fejlődését a hőmérséklet változásai sem befolyásolják jelentős mértékben *(Takahashi és Yasuda, 1970)*.

Sugárzási viszonyok

Az őszi árpa levelei a fejlettségi állapottól függően a rájuk eső sugárzásnak mintegy 19-24%-át visszaverik. A levél a legtöbb sugárzást az érés idején veri vissza, a legkevesebbet a kelés és a kalászolás között. Általában csapadékhullás utáni napokon, amikor a levelek több nedvességet tartalmaznak, tehát sötétebbek, a növény sugárzás visszaverő képessége 2-3%-kal csökken, száraz időszakban pedig az 3-5%-kal növekszik *(Weingartner, 1968)*.

A levelek szárral bezárt szöge jelentősen befolyásolja a sugárzás áteresztés mértékét, melyet az extinkciós koefficienssel (jele: k) jellemezhetünk. A koefficiens megmutatja, hogy a növényállományok a levélállásuktól függően mennyi sugárzást eresztenek át. Az extinkciós koefficiens értéke 0 és 1 közé eshet *(Anda és Burucs, 1997)*.

Az őszi árpa sugárzásfelvétele hasonlóképpen alakul, mint az őszi búzáé. A kelés után, a levelek kialakulásával gyorsan növekszik, majd az 5 körüli levélfelület indexnél elér egy olyan értéket, amelynél tovább már nem növekszik. Ekkor a sugárzáselnyelés többnyire 75-85 % között változik. A növényállomány sűrűségétől, magasságától és a napmagasságtól függően különböző mennyiségű sugárzás jut le az alsó levelek szintjére. Becslések szerint az alsó levélszintekhez az állomány felső szintjére érkező sugárzásnak kevesebb, mint 20 %-a érkezik le zárt állománynál *(Sági, 2004)*.

Csírázáskor a rügyhüvely megnyúlását befolyásolja a fény. Az árpa csírázásához nem szükséges fény; vannak olyan fajták, amelyek

csírázását a fény akadályozza *(Grahl és Thielebein, 1959).* A csírázási erély csökken fényben végzett csíráztatáskor, ez a gátló hatás különösen alacsony hőmérséklet és vízhiány esetén érvényesül *(Crocker és Barton, 1953).*

Fotoperiodikusan érzékeny fajták esetén a napi megvilágítás időtartama befolyásolja a növény növekedését és vegetatív fejlődését. Magasabbra nőnek és több levelet fejlesztenek a hosszabb fotoperiódusokon tartott növények. A nappalhosszra érzékenyek csoportjába tartozik az őszi fajták többsége. A tavaszi fajták virágzásának idejét általában nem befolyásolják a nappalhossz változásai. A hőmérséklet és a nappalhossz közötti kapcsolat lényeges befolyást gyakorol a virágzás megindulására *(Karsai, 2004).*

A mellékhajtások fejlesztése már kéthetes korban megkezdődik, a maximumot kb. négyhetes korban éri el, ezután csökken. Belső és külső tényezők is befolyásolják a mellékhajtások számát és a növekedési ütemét. Ilyen külső tényező többek között a fotoperiódusok hossza, a fényintenzitás és a hőmérséklet *(Simmons et al., 1982).*

Amíg a levélzet nem öregszik, lineárisan változik az árpaállomány nettó fotoszintézise a megkötött fotoszintetikusan aktív sugárzással. A virágzás után ez a kapcsolat már telítési görbével írható le *(Biscoe és Gallagher, 1977).*

A rövid nappalok (korai vetés) növelik a kalászolásig terjedő szakasz hőmérsékleti összeg igényét, vagyis a nappalhossz–reakciók függenek a hőmérséklettől. A kalászolástól az érésig tartó időszakban a magasabb hőmérséklet csökkenti a hőösszegigényt. A kalászolástól az érésig tartó periódus hosszát csökkenti a napos órák számának növekedése *(Strand, 1987).*

Ha a virágzás előtt kevesebb sugárzás éri az őszi árpát, kevesebb kalászka fejlődik a kalászokban *(Kernich et al., 1995).*

Schmidt et al. (1996) a fázistartamok és a meteorológiai tényezők korrelációs kapcsolatát tanulmányozva úgy találták, hogy a napfénytartammal kimutatható összefüggések szorosabbak, mint a fázistartam és a hőmérséklet kapcsolata.

Volk és *Budgee (1991)* a levélfejlődés ütemét vizsgálták búzán és árpán a hőmérséklet és a sugárzás hatására, s megállapították, hogy az árpa érzékenyebb a nappal hosszára, mint a búza.

Nedvességi viszonyok

Talajnedvesség. Az őszi árpa tápanyagban gazdag és finomra megmunkált talajt kíván. A megfelelő talajmunka és a szükséges nedvességtartalom biztosításának előfeltétele a kedvező őszi időjárás. Ellenkező esetben az őszi árpa kelése igen megkésik, ami jelentősen befolyásolja a vegetációs periódus hosszát. A vetés-kelés fenofázis hosszabb, mint az ősz búza esetében, mivel ebben az időben az őszi árpa több nedvességet igényel *(Szakály, 1968).*

Vízigénye a szárbaindulás és a kalászolás között a legnagyobb, kalászolás után csökken. Valójában a virágzásnál, csak a fenológiai feldolgozásban általában a kalászolás szerepel, amit csupán néhány nap választ el a virágzástól. Az árpánál általában ez az időszak április és május közepe közé esik, amikor is a leggyorsabb a levélfelület növekedés és az asszimiláció. A vízigény hazánkban ebben az időszakban többnyire kielégített, mivel a talajnedvesség mértéke megfelelő *(Varga-Haszonits et al., 2000).*

Az őszi árpa gyökérzete lényegesen erőteljesebb, fejlettebb, mint a tavaszi árpáé, amely az őszi árpa gyengébb talajadottságok és szárazabb időjárási feltételek közötti termesztését teszi lehetővé (jobb adaptációs képesség) *(Tomcsányi, 2004).*

Cantero-Martínez et al. (2007) szerint Spanyolország észak-keleti területén a felvehető talajnedvesség a legfőbb korlátja a termésnek, mivel az öntözés gyakran nem kivitelezhető. *Cooper et al. (1987)* szerint a téli gabonák csapadékigényesek a félszáraz környezetben.

Kajdi és Pécsi (1993) úgy találták, hogy szignifikánsan különbözik az őszi árpafajták produkciója öntözött és öntözetlen körülmények között. Az eredményeik igazolták az öntözés többlet hozam- és minőségi mutatóra gyakorolt pozitív hatását.

Párolgás. A transzspiráció erőssége (magas hőmérséklet és alacsony relatív páratartalom esetén) az érés kezdeti stádiumában is fontos, de a fiziológiai érettség elérése után (a kalász sárgulása után) egyértelműen meghatározza az érés további lefolyását *(Bonachela et al., 1995).*

Krysanova et al. (1999) 1,5 ^{o}C-os hőmérséklet emelkedés hatására a növény evapotranszspirációjának 10-15%-os növekedését jelezték előre.

Komplex meteorológiai hatások

Mirschel et al. (2001) dinamikus fenológiai modellt dolgoztak ki az őszi árpa csírázása, vegetatív- és generatív fázisai hossza között. Közleményükben a hőmérséklet, a nappalhosszúság, a szárazság stressz és a nitrogén ellátottság őszi árpára gyakorolt hatását vizsgálták. A modell alapján számolt és a megfigyelt adatok közötti korreláció erős, r értéke 0,96 és 0,99 közötti volt őszi árpa esetén. *Mirschel és Kretschmer (1990)* korábbi tanulmányából kitűnik, hogy a fenológiai fejlődés főként a hőmérséklettől és a nappali időszak hosszától függ. A szárazság és az elégtelen nitrogén ellátottság gátolja a növény fejlődését *(Brisson et al., 2003).* A hatást a leíró egyenletekben számszerűsítő paraméterek meghatározását *Mirschel et al. (2001)* végezték el.

Mivel a növény fejlődésére elsősorban a termikus tényezők hatnak, késői vetés esetén a kevés sugárzással párosuló magas hőmérsékletek, korai vetés esetén pedig a nagyobb sugárzásmennyiséggel együtt előforduló alacsonyabb hőmérsékletek látszanak kedvezőnek *(Varga-Haszonits, 1974).*

Supit és Wagner (1999) több mint 500 mintavételi helyen vizsgálta az őszi árpára a vetési idő, a virágzás kezdetének dátuma, valamint a termés kapcsolatát. Spanyolországban félszáraz mediterrán területen tesztelték a vetésidő, a csapadék és a talajnedvesség kapcsolatát. Az analízis eredménye azt mutatta, hogy a vetésidő a csapadékos szezon kezdetéhez kapcsolódik. Azt nem sikerült meggyőzően igazolni, hogy a vetési és a virágzási idő befolyásolja a termést.

Az árpánál a vetés-kelés időszaka 8-14 napig tart optimális körülmények között *(Papp et al., 1986). Lőrinc (1984)* szerint ez őszi árpánál 9-12 napig, a tavaszinál pedig 12-15 napig tarthat.

A csírázás sebességét az elegendő nedvesség és a hőmérséklet befolyásolja. A csírázás 1-2 fokon indul meg, optimuma 25 ^{o}C körüli, 30 fok körül lelassul, 40 fokon leáll. Azon növények vízfelvétele csírázáskor gyorsabb, amelyek nedvesebb környezetben fejlődtek és ezért vékonyabb a maghéjuk, mint a száraz körülmények között fejlődőké *(Dickson, 1968).*

Az árpa aratás utáni csíranyugalma genetikailag meghatározott tulajdonság, amelyre erős hatással vannak a környezeti tényezők *(Curran és McCarthy, 1986).* A magas páratartalom és az érés alatti esős időjárás növeli a dormancia (magnyugalom) erősségét és az időtartamát, de a

csírázóképességet nem befolyásolja szignifikánsan az a hőmérséklet, amelyen a termés fejlődik *(Wellington, 1956).*

Az őszi árpa szemtermésének kémiai összetételére jelentős hatással vannak a termesztés körülményei (agrotechnika, csapadékviszonyok). A hatás még az egyes fajták különbségénél is nagyobb, így a különböző árpafajták egyes tulajdonságai más termőhelyeken különböző mértékben jelentkeznek *(Tomcsányi, 1998)*. A termesztési körülmények a nyersfehérje- és az ásványi anyag tartalomra vannak hatással. *Kajdi (1997)* fajtakísérleteiben a nyersfehérjehozam a korai éréscsoportba tartozó ősziárpa-fajták esetén kisebb volt, mint a középérésűeknél. Az E-vitamin-tartalmat is befolyásolja az időjárás: csapadékos években az E-vitamin tartalom csökken.

Keléskor az első levél után a továbbiak 2-5 naponként jelennek meg a hőmérséklet függvényében. A háromleveles állapot a vetés után mintegy két héttel következik be, ezzel elkezdődik a bokrosodás, amelynek során a mellékhajtások a főtengelyen lévő bokrosodási csomóból differenciálódnak. A bokrosodási csomó a talajfelszín alatt helyezkedik el, amelynek a talajfelszíntől vett távolságát a genetikai adottság mellett a hőmérsékleti és fényviszonyok is befolyásolják. A távolság őszi árpák esetén hazai viszonyok között kb. 10-45 mm *(Tomcsányi, 2004)*.

A bokrosodás ütemét leginkább a hőmérséklet határozza meg. Optimuma 10-15 Celsius fok között van. 1-2 ^{o}C-on leáll, de enyhébb teleken az őszi árpák bokrosodása folytatódhat. A bokrosodásnak kedveznek a rövidnappalos körülmények, ezért fontos pl. a tavaszi árpák korai vetése. A bokrosodás mértékét genetikai adottságok is determinálják, amit a vízhiány csökkent, a jó vízellátottság és a hűvösebb időjárás pedig növel. A nedvesebb körülményekhez szokott árpafajtáknál ez a mérték kisebb. *(Mészáros, 1984)*

A szárbaindulás hosszúnappalos feltételek hatására indul el. Nálunk ez átlagosan április első dekádjára, ill. május elejére esik az őszi-, illetve a tavaszi árpák esetén. A szár 2-3 hét alatt nyúlik meg, amelynek gyorsaságát leginkább a hőmérséklet, valamint a víz- és tápanyagellátás befolyásolja. Vízhiánnyal párosuló meleg esetén a szárbaszökkenés túlságosan gyors, a szár csökött lesz. A hőmérsékleti optimum kb. 17 Celsius fok *(Kismányoky, 1997)*.

Az érés sebességét szintén befolyásolja környezeti tényezők, pl. a vízellátottság és a hőmérséklet. Optimális körülményei a kellő

vízellátás, 70%-os relatív páratartalom és a 20-25 ^{o}C-os hőmérséklet *(Kismányoky, 1997)*.

Az őszi árpa esetében - ugyanúgy, mint az őszi búzánál - az időjárás és a terméshozam közötti kapcsolat vizsgálata szempontjából a vegetációs periódus három részre osztható: őszi időszakra, téli időszakra és tavasz-nyári időszakra. Az őszi-téli időszak alatt a bokrosodási csomó hőmérséklete és a hótakaró vastagsága a két legfontosabb meteorológiai tényező a növény számára. A kritikus hőmérsékleti érték a fajtától és a fejlettségi állapottól függ. Ha a hőmérséklet a kritikus érték alá süllyed, a növény károsodik vagy elpusztul a hatás erősségétől és tartamától függő mértékben *(Varga-Haszonits, 1974)*.

A tavasz-nyári időszak alatt a meteorológiai elemek már közvetlenül hatnak a termés kialakulására. Az időszakot *Varga-Haszonits (1987a)* két fejlődési szakaszra, a szárbaindulás-kalászolás és a kalászolás-viaszérés szakaszra bontva vizsgálta. Vizsgálata szerint a szárbaindulás-kalászolás szakaszban mind a sugárzás, mind a hőmérséklet hatással van az őszi árpa terméshozamára. A hőmérsékleti hatás a jelentősebb, s oly módon érvényesül, hogy a hűvösebb időjárás kedvez a magasabb terméshozamok kialakulásának, ugyanakkor a nedvességi tényezők hatása nem volt kimutatható. A kalászolás - viaszérés szakaszban ugyancsak a hőmérséklet gyakorolt jelentősebb hatást a terméshozamra. Szintén a hűvösebb időjárás segíti elő a magasabb terméshozamot. Ebben az időszakban azonban már hatnak a termésmennyiségre a nedvességi tényezők is.

Varga-Haszonits et al. (2006a) úgy találták, hogy a vegetációs periódus folyamán lejátszódó hőmérsékletváltozások a terméshozamokban különböző irányú változásokat idéznek elő. A téli hőmérsékletemelkedés kedvező a terméshozamokra nézve, míg a májusi hőmérsékletemelkedés kedvezőtlen befolyást gyakorol rájuk.

Többek között a víz- és tápanyagellátás határozza meg a növényenkénti produktív mellékhajtások számát, és így befolyásolják a területegységre jutó kalászok számát. Ez, valamint a kalászonkénti szemszám a virágzás előtt körülbelül 3 héttel alakul ki. A kalászonkénti nagy szemszámot és a szemtömeget alapvetően meghatározzák a virágzás utáni időjárási viszonyok, valamint a virágzástól a kalászolásig tartó fázis hossza *(Sági, 2004)*.

Annak tanulmányozása, hogy a lehetséges vetésidők vajon egybeesnek-e a várt csapadékos időszak kezdetével elég problémás, mert ezen adatok elérhetősége nehézkes. Ahol lehet, a csapadékadatok térbeli

interpolációjával kell számolni. A számítások nagy hibával terheltek. *Hulme et al. (1995)* 35%-os relatív hibát (röghatás per küszöbérték, amely a klasszikus statisztikában a relatív szórással analóg) kaptak 800 havi csapadék adat interpolálásakor.

Jamieson et al. (1995) a talaj vízellátottságának az árpa termésére gyakorolt hatását tanulmányozták öntözött kísérleti körülmények között. *Sanvicente et al. (1999)* szerint az egyik legfontosabb az őszi árpa termésmennyiségét korlátozó tényezői közül a növény szárerőssége. *Arisnabarreta és Miralles (2008)* tanulmányukban a termés szemszámát meghatározó kritikus periódust vizsgálták, amelyre a kalászolást megelőző időszakot találták.

Az őszi árpa nitrogén felhasználására újabb adalékokat találunk *Delogu et al. (1998)* tanulmányában. Jaidor őszi árpa fajtát 0, 140 és 210 kg/ha nitrogén felhasználás mellett vizsgálva azt tapasztalták, hogy a legnagyobb termésmennyiség 140kg/ha esetén mérhető.

Cossani et al. (2009) árpára és búzára vizsgálták a termésmennyiség és a biomassza kapcsolatát. Megerősítették, hogy mediterrán környezetben az árpa jobb termést ad, mint a búza.

Williams et al. (1989) a növénytermesztés és a földművelés hatását értékelték ki tekintettel az erózióra EPIC modellel.

Extrém klimatikus hatások

Egyre nagyobb jelentőséget kapnak azok a kutatások, amelyek a növény környezeti hatásokkal szembeni alkalmazkodó képességének, a betegségekkel és kártevőkkel szembeni ellenálló képességének javítására irányulnak. Például az Etióp-felföldön termesztett árpák olyan klimatikus viszonyok között élnek, ahol rendkívül kedvező feltételei vannak a levélbetegségeket okozó mikroorganizmusok elszaporodásának. Innen és más szélsőséges termőhelyekről, sós sivatagokból, magas hegységekről gyűjtött tájfajtákból olyan génváltozatok (allélek) nyerhetők, amelyekkel tovább lehet fokozni a növény szárazság-, só-, vagy hidegtűrését. Ezért merült fel a növény genetikai tartalékai világméretű feltárásának igénye *(Hawkes, 1994 cit. Szabó, 1994).*

*Áttelelés***.** Az őszi árpa télállósága kisebb, mint az őszi búzáé vagy a rozsé. A hótakaró nélküli, hirtelen beálló hideg idő a növényt erősen megviseli. Az új nemesített fajták edzettebbek, a téli hideget

jobban tűrik. A levelek nagyobb cukorkoncentrációja és az árpafajták fagytűrése között jó korreláció van *(Keteleer et al., 1988).*

Fagyok. Éghajlatunk alatt az őszi árpa kapcsolatba kerül hosszan tartó hideggel. Télállósága gyengébb, mint a búzáé. Ha télen nincs hótakaró, a -15 Celsius fok alatti hőmérséklet kritikus lehet számára. A sejtmembránok stabilitása és a lipidviszonyai változnak meg alacsony hőmérsékleten.

Különbség mutatkozik a fotoperiódusra nem érzékeny és a hosszúnappalos árpa fajták fagytűrése között. Az előbbiek korábban érnek *(Uspenskaya 1988 cit. Tomcsányi és Turcsányi, 2004)*, fagytűrésük azonban gyengébb, ezért a fagytűrés javítására a hosszúnappalosság fokozását javasolják *(Sheremet 1990 cit. Tomcsányi és Turcsányi, 2004).*

Magas hőmérsékleti stressz. Általában a növényhőmérséklet alakulása döntő tényező a stresszhatások detektálásának folyamatában. A növény – normális, stresszmentes körülmények között – hőmérsékletét közvetlenül a léghőmérséklet közelében, vagy az alatt tartja. Ha a növényt stresszhatás éri, hőmérséklete megemelkedik *(Anda, 1998).*

Csökken azoknak a szemterméseknek a csírázóképessége, amelyeknél az anyanövényt a kalászhányás után 7-14 nappal hőstressznek tették ki, ellenben a 3 héttel későbbi hőhatás ezt fokozza *(Khan és Laude, 1969).*

Rauber és Isselstein (1985) hipotézise szerint a hőérzékenységet döntően belső, a vízérzékenységet külső tényezők befolyásolják. Ha nő a hőmérséklet, a növények fokozatosan több hősokkfehérjét (HSP) termelnek *(Marmiroli et al., 1989).*

Belvíz. Ha a talaj telítődik vízzel, gyorsan nő a fejlődő árpaszemek citokinintartalma, ezért a szemtelítődési szakasz meghosszabbodhat *(Michael és Seiler-Kelbitsch, 1972).*

Aszály. A szárazság nyomán fellépő aszálykárok számszerűsítése különféle aszályindexek segítségével történik (*Antal és Glantz,* 1988). Az indexek meteorológiai és hidrológiai állapotjelzők számszerűsítésén keresztül igyekeznek a szárazság növényfejlődésre gyakorolt hatását jellemezni. *Varga-Haszonits (1989), Nemes (1993)* és *Simon (1993)* vizsgálati eredményei szerint több haszonnövény esetében

szoros kapcsolat mutatható ki a termésmennyiség és az aszályindexek között.

Általában a nagyon alacsony relatív nedvességtartalom nem jelent feltétlenül vízstresszt a növények számára, ha a levegő hőmérséklete is alacsony, ahogy a magas hőmérséklet is csak akkor viseli meg a növényeket, ha alacsony a levegő nedvességtartalma *(Anda, 1995, 2002).*

Napjainkban a légköri szárazság jelentkezése átlagosan évi 16-18 napra tehető. Ha a meteorológiai feltételek, áramlási rendszerek a jelenlegi mechanizmus szerint alakulnak, akkor az elkövetkező években a légköri szárazság további növekedésével számolhatunk *(Lakatos et al., 2005).* Az előző megállapítás egybehangzó *Bocz (1963), Lambert és Tölgyesi (1993),* valamint *Szász (1993)* szárazsági trendre vonatkozó megállapításával, miszerint az aszálygyakoriság növekedésével kell az elkövetkező évtizedekben számolni.

Az őszi árpa jól viseli a száraz tavaszt és mivel korán érik, az aszály is kevéssé károsítja. Az árpa jobban alkalmazkodik a szárazsághoz, mint a búza *(Cossani et al., 2007).*

Szárazság idején az egész levéllemez hosszában azért tud összesodródni, mivel a felső epidermisz erek közötti zónájának közepét kitöltő téglalap alakú, vékony falú ízületi (bulliform) sejtek turgornyomása csökken, s összehúzódnak *(Haraszti, 1979).*

Vízhiányban csökken a levélfelület-index (amely a vízellátás helyreállása után nő), a levélöregedés gyorsul és kisebb lesz a hajtás/gyökér arány. A sarjkeletkezéstől a szármegnyúlásig reagál a legérzékenyebben a vízhiányra az árpa (különösen rövid nappalokon). A későbbi vízhiány miatt bekövetkező biomassza-csökkenés nem függ a fotoperiódustól *(Sági, 2004).*

A tartósan magas hőmérséklettel általában együtt jár a vízhiány is. A korai vízhiány a mellékhajtások fejlesztését és növekedését késlelteti, melyekre egy későbbi vízhiánynak alig van hatása. A korai maximális vízhiány és a fotoszintetikusan aktív sugárzás hasznosításának hatékonysága között szoros negatív korreláció van. A vízhiány csökkenti a szén-dioxid megkötést is. Késik az érés, ha a hajtásfejlődés idején a növény vízhiányban szenved, a későbbi vízhiány pedig sietteti az érést (kényszerérést okoz, ami szélsőséges esetekben 1-2 nap alatt is végbemehet) és a növény öregedését. A vízhiány a szemek fehérje-összetételére is hatással van *(Leinhos és Bergmann, 1995).*

Rong-Hual et al. (2006) az árpa fotoszintetikus jellemzőin, különösen a klorofill-tartalmon keresztül tanulmányozták a növény szárazságtűrését.

A csapadékhiánynak a termésre gyakorolt hatását félszáraz területen többen is tanulmányozták és próbálták megbecsülni a víztartalom, illetve a vízhiány hatását a termésre *(Doorenbos és Kassam, 1979; Dennett et al., 1981; van Keulen és Seligman, 1987; Le Houérou et al., 1989).* Figyelembe véve, hogy egy esetleges éghajlatváltozás hazánk egyes területeinek szárazodását eredményezheti, célszerűnek látszik ezen kutatási eredmények figyelemmel kísérése is. A tanulmányokban az adott területen mért átlagos termés korrelált az októbertől májusig leesett csapadék összegével és az ugyanerre az időszakra számított relatív talajnedvességgel. A kapcsolatok lineáris korrelációs együtthatójára r=0,59 (p<0,03) és r=0,71 (p<0,01) adódott. A talajnedvesség esetén kapott erősebb korreláció azzal magyarázható, hogy a lehullott csapadék nem teljes egészében szívódik fel és így nem feltétlenül növeli a termésmennyiséget. *Villar (1989)* 30 éves árpa termésadatokat elemezve ugyanerre az időszakra mért csapadékösszegnek a termésre gyakorolt hatását vizsgálva r=0,56 (p <0,01) értéket kapott. *Van Keulen és Seligman (1987)* szerint a legtöbb félszáraz régióban nagymértékű a párolgás.

Félszáraz területeken két szezonig ugaroltatott területek raktároznak annyi csapadékot, amennyi elég az őszi árpa fejlődéséhez. Ezzel az eljárással nő a talaj nitrogén- és víztartalma a vetés idején és nő a vízhasznosítása is *(Unger, 1994; Aase és Pikul, 2000).*

A már leesett és a várható csapadék is befolyásolja a vetésidőt. *Russel (1990)* szerint a mediterrán régióban a téli vetésidő (november-december) az általános. *Van Keulen és Seligman (1987)* szerint a félszáraz területeken a vetést gyakran késleltetik a csapadékos időszak kezdetéig azért, hogy minimálisra csökkentsék a csírázás sikertelenségének kockázatát. Szimulációs modellt alkalmazva megállapították, hogy alacsonyabb termésmennyiség várható, ha a vetés késik. Hasonló eredményre jutott *Aggarwal et al. (2006)* is Indiában.

A félszáraz területek csapadékszegény földművelési rendszerében a vetésre ősszel, vagy télen akkor kerül sor, ha legalább 25 mm csapadék leesett és elkezdődött a nedves szezon *(Russel, 1990).*

Az őszi vetésű gabonák esetén a korábbi őszi és téli vetésidő nagyobb termést eredményezhet és az különösen előnyös a nyáron aszályos területeken *(Aufhammer et al., 1994).*

Soane és Ball (1998) különböző talajművelési módok esetén vizsgálták a talaj és az őszi árpa kapcsolatát, valamint tanulmányozták a hagyományos és a redukált művelési módoknak az őszi árpa növekedésére, termésére és vízhasznosítására gyakorolt hatását *(Moret et al,. 2007).*

Sótűrés. Az árpa sótűrése más kultúrnövényekhez képest nagyobb *(Nair és Khulre, 1990).* A mezőgazdasági termelés számára azok a fajták értékesebbek, amelyek nagyobb sókoncentráció mellett is megfelelően csíráznak *(Horváth, 2004)*.

A *Piriformospora indica* gombával kezelt árpa sótűrése jelentős mértékben javul. A gombával és sóval kezelt növények gyökerében a fontosabb enzimek aktivitása jelentősen nagyobb volt, mint a csak sóval, vagy csak gombával kezeltek esetében. Az aszkorbinsav koncentrációja szintén nőtt. Arra lehet következtetni, hogy a *Piriformospora indica* általánosan serkenti az árpa antioxidáns védelmi rendszerét abban az esetben, ha sóstressz éri a növényt *(Anonymus, 2007).*

Viharkárok. Az őszi árpa nem termeszthető eredményesen olyan helyeken, ahol május-júniusban heves esőzések vannak (megdőlési veszély). A búzáénál rosszabb az állóképessége. Különösen az őszi árpa, de részben a tavaszi árpa fajták szárszilárdsága sem kielégítő. A korán és jelentős mértékben megdőlt árpa állományok esetén romlik a vetőmag csírázóképessége. Éppen ezért – amennyiben ez szükséges – a vetőmagtermesztésben indokolt különböző hatóanyagú szárrövidítők, regulátorok használata, valamint a szakszerű agrotechnika (állománysűrűség, trágyázás, növényvédelem) betartása *(Izsáki és Lázár, 2004).*

A szárerősség keresztezéssel fokozható *(Tomcsányi és Kismányoky, 1995).* A GK Árpád csupasz őszi árpa egy igen bőtermő, de gyenge szárú fajta és egy erős szárú, csupasz japán tájfajta kereszteződésével jött létre *(Palágyi, 2002)*.

Szél. Foereid et al. (2002) fűzfa szélvédő sáv árpára gyakorolt hatását vizsgálták. 11 helyen mérték a mikroklíma jellemzőit. A védett környezet miatt kialakult magasabb hőmérséklet hatására az árpa növekedése hamarabb befejeződött. Az alkalmazott modell megmutatta, hogy az ezért felelős környezeti változók a hőmérséklet és a sugárzás. Ez a hatás erősebb, ha a nitrogén-felhasználás nem limitált.

10.13147/NYME.2013.018

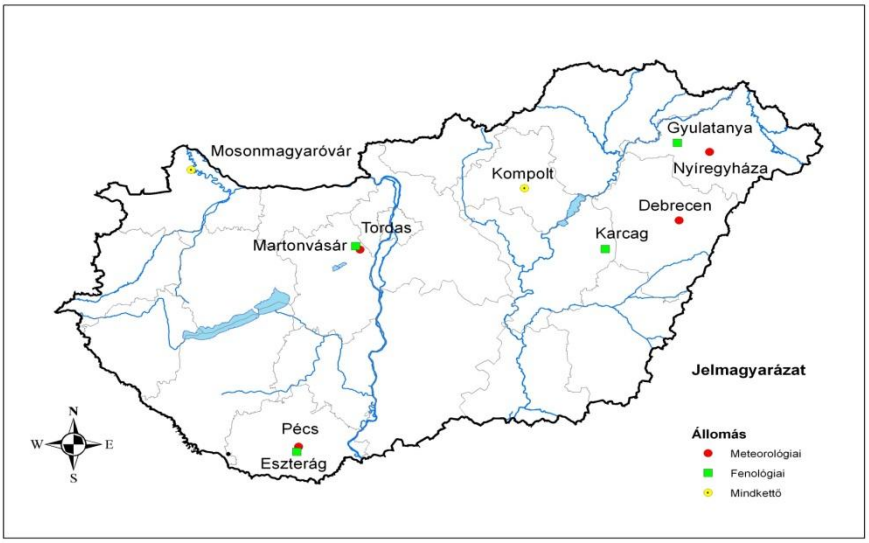
Növényi betegségek és kártevők. A korai vetés azért hajlamosít a vírusos betegségekre, mert a kártevők jóval hosszabb ideig élősködhetnek az állományon. Így akár az összes növényt is megfertőzhetik, amelyek emiatt gyakran el is pusztulnak, de ha ez el is marad, akkor is csak csenevész egyedek fejlődnek a beteg növényekből. Hosszú, enyhe őszi időjárás esetén azonban a normál idejű vetésekben is igen komoly kártétel léphet fel *(Barasits, 2004).* Az árpa sárga törpülés vírusa egyike az őszi gabonák legsúlyosabb vírusos megbetegedéseinek. A vírust terjesztő tetvek száma ősszel nagyobb fertőzési faktort jelent *(Bahrman et al., 1999).*

10.13147/NYME.2013.018

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgálat alapjául szolgáló adatbázis

Az agroklimatológiai vizsgálatok párhuzamos meteorológiai és mezőgazdasági (fenometriai, fenológiai, terméshozam stb.) adatsorok elemzésére épülnek. Éghajlati jellegű vizsgálatokról lévén szó, az országos meteorológiai adathálózatban mért adatok értékelését kell elvégezni. Ehhez meg kell találni azokat a helyeket, ahol - gyakran különböző intézmények - a kiválasztott ponttól nem nagy távolságban, és ugyanabban az időben növényfenológiai és terméshozam adatgyűjtést végeztek. **(1. ábra)**



1. ábra A társított fenológiai és meteorológiai állomások (őszi árpa bázisminta 1966-1980)

Mivel a meteorológiai megfigyelőhelyek viszonylag sűrűn helyezkednek el az ország területén, a mezőgazdasági megfigyelések pedig inkább intézményekhez kötöttek vagy valamilyen területi egységet

(pl. megye) reprezentálnak, a mezőgazdasági megfigyelőhelyekhez igazodva választottuk ki a meteorológiai állomásokat. A meteorológiai állomások között oly módon tettünk különbséget, hogy mezőgazdasági szempontból mennyire reprezentatívak és milyen hosszúságú adatsorokkal rendelkeznek *(Varga-Haszonits et al., 2004).*
Nem könnyű azonban hosszú párhuzamos meteorológiai és növényi adatsorokat előállítani. A meteorológiai állomások időszakonként áttelepülhetnek, megszűnhetnek, a növényi megfigyelőhelyeken pedig évente változhat a termesztett növényállomány.

Meteorológiai adatok

Az agroklimatológiai elemzésekhez tehát olyan adatbázisra van szükség, amely meteorológiai és növényi adatokat egyaránt tartalmaz. Ilyen adatbázis a Nyugat-magyarországi Egyetem mosonmagyaróvári Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Karán kialakított agroklimatológiai adatbank.

Az adatbankban található meteorológiai adatok két nagy csoportba sorolhatók: mért és származtatott (számított) adatokra. A mért meteorológiai adatok az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSz) megfigyelő hálózatából származnak, ahol a mérési adatokat reprezentatív mérőhelyeken, meteorológiai mérési célokra kifejlesztett műszerekkel, előírt szabványok betartásával határozták meg: Balassagyarmat, Kaposvár, Kecskemét, Pápa, Martonvásár (1951-1990); Békéscssaba, Budapest, Debrecen, Győr, Iregszemcse, Kecskemét, Kompolt, Miskolc, Mosonmagyaróvár, Nyiregyháza, Pécs, Szeged, Szolnok, Szombathely, Zalaegerszeg (1951-2000).

A származtatott adatokat a rendelkezésre álló mért adatok felhasználásával a korábbi agroklimatológiai kutatások során kidolgozott módszerekkel határoztuk meg. A leggyakrabban használt származtatott adatok: a globálsugárzás, a fotoszintetikusan aktív sugárzás, a potenciális párolgás, a tényleges párolgás és a talajnedvesség.

A globálsugárzás értékeit *Varga-Haszonits* és *Tölgyesi (1990)* által az Ångström-féle formula hazai viszonyokra kidolgozott

alkalmazása útján nyert módszerrel határoztuk meg. Ez a következő formában írható:

$$R_{GL} = R_{POT}\left(a + b\frac{H}{H_{POT}}\right) \tag{1}$$

ahol R_{GL} a tényleges globálsugárzás értéke, R_{POT} a csillagászatilag lehetséges globálsugárzás értéke, H a napfénytartam, H_{POT} a csillagászatilag lehetséges napfénytartam, a és b pedig empirikus konstansok.

A fotoszintetikusan aktív sugárzás (FAKS) lényegében a globálsugárzás fele *(Monteith, 1973)*, ezért a globálsugárzás adataiból 0,5-ös szorzóval előállítható. Ez adat hazai adatokon is igazolható *(Varga-Haszonits 1981).*

$$FAKS = R_{POT}\left(a + b\frac{H}{H_{POT}}\right)\cdot 0{,}5 \tag{2}$$

A hőmérsékleti adatokból pozitiv hőmérsékleti összeget (ST) képeztünk oly módon, hogy a napi középhőmérsékletek tényleges értékeit a vizsgált időszakra összegeztük:

$$ST = \sum_{k=1}^{n} t_k \tag{3}$$

ahol n az összegezésnél figyelembe vett napok száma, tk pedig a napi középhőmérséklet.

A hőmérséklet és a sugárzás együttesen hat a növényre, s mivel egymással is szoros kapcsolatban vannak, ilyen esetekben célszerű e két értékből indexet képezni *(Caprio, 1977; Sakamoto, 1981; Mjelde, 1989).* A vizsgálatunk során igyekeztünk ezt az indexet, amelyet radiotermikus indexnek (RTI) nevezünk, egyszerűbb formában előállítani. A *Varga-Haszonits (1992)* által képzett index a következő módon számítható ki:

$$RTI = \frac{t_k}{FAKS} \tag{4}$$

A radiotermikus indexet a (4) összefüggés alapján úgy tekinthetjük, mint egy olyan meteorológiai jellemző értéket, amely az egységnyi sugárzásmennyiségre eső hőmérsékletváltozást mutatja.

A potenciális párolgás számítására a *Dunai et al. (1968; 1969)* által kidolgozott formulát használtuk. Ez a következő formában írható fel:

$$E_0 = \left[\frac{1 - r_N}{2 - r_N} \cdot t_k \right] \cdot n \qquad (5)$$

ahol E_0 a potenciális párolgás vagy a levegő párologtató képessége mm-ben, r_N a relatív nedvesség adott időszakra vonatkozó középértéke századokban, t_k az adott időszak középhőmérséklete, n pedig az időszak napjainak a száma.

A potenciális párolgás értékeit 1 Celsius foknál alacsonyabb értékekre és 1 napnál hosszabb időszakokra *Varga-Haszonits és Tölgyesi (1992)* módosított eljárása alapján állítottuk elő. A növényekkel borított felszínről történő párolgásnál (potenciális evapotranspiráció, PE) azonban figyelembe kell venni a párologtató felszín biológiai tulajdonságait is:

$$PE = k(t) \cdot E_0 \qquad (6)$$

ahol PE a potenciális evapotranspiráció, k(t) az időtől való függésben megadott biológiai paraméter (alapvetően a levélfelület változását fejezi ki), amelyet egyes szerzők növénykonstansnak neveznek, E_0 pedig a potenciális párolgás.

A tényleges párolgás (tényleges evapotranspiráció, E) és a talajnedvesség számítása pedig a *Varga-Haszonits (1992)* által kidolgozott módszer segítségével történt. A tényleges párolgás meghatározásánál abból indultunk ki, hogy a víz csak korlátozott mennyiségben áll rendelkezésünkre, tehát a párolgás intenzitása függ még a rendelkezésre álló vízkészlettől is, vagyis:

$$E = f(W) \cdot PE \qquad (7)$$

Ennek alapján a tényleges párolgás számítását a következő formulával végeztük el:

$$E = \frac{PE}{1 + \exp\left(a + b\frac{W}{W_{max}}\right)} \qquad (8)$$

ahol W a növényállomány alatti hasznos víztartalom, W_{MAX} a maximális hasznos víztartalom (hasznos vízkapacitás). A formula konstansait meghatároztuk őszi búza alatti talajra és ezeket használjuk őszi árpa esetén is: a=4,2 b=-8,6.

A szabadföldi vízkapacitás és a hervadáspont adatait felhasználva meghatároztuk a maximális hasznos víztartalmat a talajban (W_{MAX}), amely a szántóföldi vízkapacitás és a holtvíztartalom közötti vízmennyiség:

$$W_{MAX}=VK_{sz}-HP \qquad (9)$$

ahol VK_{sz} szántóföldi vízkapacitás, HP a hervadáspont.

Azért, hogy a különböző szabadföldi vízkapacitással rendelkező talajok nedvességtartalmát össze tudjuk hasonlítani, a talajban lévő (s a növények által felvehető) tényleges hasznos vízmennyiséget (W) a maximális hasznos vízkapacitás arányában határoztuk meg. A relatív hasznos víztartalom (W_{REL}) tehát a hasznos víztartalom (diszponzibilis víz) és a maximális hasznos víztartalom hányadosa:

$$W_{REL} = \frac{TN - HP}{VK_{sz} - HP} \qquad (10)$$

ahol TN a teljes talajnedvesség,

A képlet által meghatározott értéket a talajnedvesség relatív értékének vagy egyszerűen relatív talajnedvességnek nevezzük. Az agrometeorológiában talajnedvességként többnyire a növények által felvehető hasznos vízmennyiséget szokták meghatározni *(Jamieson et al., 1995)*, s ezt abszolút vagy relatív értékben fejezik ki. A relatív értéket

többféleképpen is nevezik. *Ravelo és Decker (1979)* talajnedvességi indexként említi.

Az egyes meteorológiai elemek értékeit azután meghatároztuk minden fenológiai fázisra, valamint az egész vegetációs periódusra és statisztikai modellek alkalmazásával *(Chuine et al., 2003)* megvizsgáltuk a meteorológiai elemeknek az őszi árpa fenológiai jelenségeire gyakorolt hatását.

Fenológiai adatok

Az adatbank az 1950 és 1985 közötti időszakban az Országos Fajtaminősítő Intézet (amelynek jogutódja a mai Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal) fenológiai megfigyelő hálózata által mért adatokat, az 1980 és 2000 közötti időszakban pedig az Országos Meteorológiai Szolgálat fenológiai állomáshálózata által megfigyelt adatokat tartalmazza: Eszterág, Debrecen, Tordas (1967-94); Kompolt, (1967-97); Debrecen, Iregszemcse, Kompolt, Mosonmagyaróvár, Székkutas, Eszterág, Villány, Cserkút, Gyulatanya, Nyíregyháza, Karcag, Füzesabony, Tordas, Agárd (1984-97).

A fenológiai megfigyelések során a növények fenofázisainak naptári időpontjait jegyzik fel. A fenofázisok hosszát a fenofázisok dátumai segítségével meghatározzuk, s ezt összefüggésbe hozzuk a meteorológiai elemekkel:

$$n = F_2 - F_1 = f(m_1, m_2 \ldots, m_k) \qquad (11)$$

ahol n a fázistartam hossza napokban, F_1 és F_2 pedig az egymás utáni fenofázisok bekövetkezésének az időpontjai, az m_1, m_2,...,m_k pedig az egyes meteorológiai elemeket jelölik.

A napi átlagos fejlődési ütemet úgy lehet a legegyszerűbben meghatározni, hogy a fázistartam egy napra eső hányadát tekintjük a napi átlagos fejlődési ütemnek (1/n), s ezt ugyancsak összefüggésbe lehet hozni a meteorológiai elemekkel, azaz

$$\frac{1}{n} = f(m_1, m_2 \ldots, m_k) \qquad (12)$$

A **(11)** és **(12)** egyenletben szereplő meteorológiai hatásfüggvényeket először egyetlen elem alapján határoztuk meg, majd a legerősebb összefüggést mutató elemeket közös hatásukat kifejező indexek formájában egyesítettük.

Termésadatok

Az adatbankban szereplő terméshozam adatok a Központi Statisztikai Hivatal (KSH) által gyűjtött megyei termésátlagok. A meteorológiai elemek és a termés közötti összefüggések vizsgálatában ezeket a termésadatokat használtuk.

Amennyiben biomassza (földfeletti zöldtömeg) adatokra van szükségünk, azt a terméshozam-értékekből a következőképpen állíthatjuk elő:

$$Y_{BIO} = \frac{1}{HI} Y_{GAZD} \qquad (13)$$

ahol Y_{BIO} a biomassza, Y_{GAZD} a gazdasági termés, HI a harvest index pedig azt mutatja meg, hogy a biomasszának hány százaléka a gazdasági termés.

A matematika-statisztikai adatelemzés módszerei

A matematikai-statisztika módszereit három területen alkalmaztuk: amikor hibás vagy hiányzó adatokat kellett pótolni, amikor az éghajlat növényi életjelenségekre gyakorolt hatását kellett elemezni, és amikor a kapott eredményeket kellett verifikálni.

Adatpótlás

A megfigyelések és mérések során előfordulhat, hogy egy-egy alkalommal a megfigyelések vagy a mérések kimaradnak, esetleg téves bejegyzés miatt az adatok nyilvánvalóan hibásak. Ilyenkor a hiányzó vagy hibás adatokat pótolni kell. Az általunk használt agroklimatológiai adatbankban az adatok pótlása *Conrad és Pollak (1950), Linacre (1992)* valamint *Varga-Haszonits et al. (2004)* által leírt elvek és módszerek figyelembe vételével történt.

Agroklimatológiai hatáselemzés

Az agroklimatológiai elemzéseket matematika-statisztikai módszerekkel végeztük el *(Sváb, 1981).* A felhasznált módszerek alkalmazásához szükséges számítástechnikai programok a Matematika, Fizika és Informatikai Intézetben rendelkezésünkre álltak. Az egyszerűbb matematikai-statisztikai számításokat az Excel program, a bonyolultabb számításokat pedig a Statistica 6 program segítségével végeztük el. A speciális agroklimatológiai számításokra (a meteorológiai elemek és a növényfejlődés közötti kapcsolat számítása, terméselőrejelzés stb.) Visual Basic programokat készítettünk.

Az érés időpontjának előrejelzése

Azért, hogy képesek legyünk mérni a növényfejlődést, növényfejlődési skálát terveztek. Ez a fejlődési skála a növény életében előforduló fenológiai jelenségekhez, olyanokhoz, mint a virágzás (anthesis) és az érés, egy számot rendel. A fejlődési skála tipikusan egydimenziós és a skálán a haladás iránya megfordíthatatlan *(Goudriaan és van Laar, 1994)*. Ezen a skálán a fejlődés *Penning de Vries* és *van Laar (1982)* modelljében 0 értékkel indul, és a virágzáskor éri el az 1 értéket. Természetesen az is lehetséges, hogy egyszerűen csak a növényfejlődést reprezentáló meteorológiai elem napi értékeit összegezzük, s amikor az eléri a potenciális értéket, azt a napot tekintjük a vizsgált fenofázis végének.

Ismeretes a nemzetközi szakirodalomból, hogy az éghajlat-növény modellekben a növényfejlődést általában a hőmérsékleti összegen alapuló számítással határozzák meg *(Varga-Haszonits, 1987a; Richie és Nesmith, 1991; Bonhomme, 2000; Richie és Alagarswamy, 2002; Dorka, 2005).* Az őszi árpa fenofázisainak tartama hazánkban a hőmérsékleti összeggel gyengébb összefüggést mutat, mint a fotoszintetikusan aktív sugárzás összegével. Ezért ugyanazt a gondolatmenetet követve, mint a hőmérsékleti összeg esetében, a növényfejlődés számítását a fotoszintetikusan aktív sugárzás napi adataival végeztük. Ennek a számításmenetnek az a lényege, hogy feltételezzük, hogy a fotoszintetikusan aktív sugárzás összege egy adott fenofázis tartamára állandó. Bár nagyon szoros összefüggés van a fotoszintetikusan aktív sugárzás fázistartam alatti összege és a fázistartam hossza között, ez a feltételezés szigorúan véve nem mindig teljesül. Emiatt meghatároznak

egy feltételezett összeget, amely a fenofázis befejezéséhez szükséges, s feltételezik azt is, hogy amilyen ütemben összegeződik a fotoszintetikusan aktív sugárzás, megközelítőleg olyan ütemben fejlődik a vizsgált növény. Ez matematikai formában a következőképpen írható le:

$$D=\frac{FAKS_{\text{napi átlag}}}{FAKS_{\text{Fázistartam alatti potenciális összeg}}} \qquad (14)$$

ahol D a napi fejlődési ütem, FAKS a fotoszintetikusan aktív sugárzás. A FAKS fázistartam alatti potenciális összegét úgy határoztuk meg, hogy az az érési időpontokhoz tartozó leggyakoribb FAKS összeg. Ha a D értékeket naponta összegezzük, akkor, amelyik napon a FAKS napi értékek összege eléri a FAKS fázistartam alatti potenciális összegét, a D érték 1 lesz, s ezen a napon befejeződik az adott fenofázis.

Terméselőrejelzés

Az őszi árpa termése és az időjárás közötti kapcsolat vizsgálatához az 1951-től 2000-ig terjedő időszak meteorológiai és növényi adatai állnak rendelkezésünkre. A vizsgálatot kétféle módszerrel végeztük el. Az első vizsgálat során először egyváltozós regresszióval választottuk ki a fontosabb meteorológiai elemeket, illetve azokat az időszakokat, amikor ezek a tényezők a legnagyobb hatással vannak a terméshozam alakulására. Az ilyenfajta elemzést az agroklimatológiában érzékenység-vizsgálatnak (sensitivity analysis) szokás nevezni.

A meteorológiai befolyást kifejező függvény meghatározására a tenyészidőszakot célszerű szakaszokra osztani. A szakaszok lehetnek természetes (pl. fázistartamok, küszöbértékek által meghatározott időszakok) és lehetnek naptári időszakok (pl. évszakok, hónapok, dekádok, pentádok). A kiválasztott időszakok alatti meteorológiai tényezők termésre gyakorolt hatását összefüggés-vizsgálatokkal határozzuk meg, s az egymás utáni szakaszokból csak a legjelentősebb hatásokat mutató időszakokat vesszük figyelembe (*Szabó és Tóth, 1989*). S ezeket a meteorológiai szempontból jelentős hatású szakaszokat a reziduális módszeren alapuló fokozatos közelítésű multiplikatív modellben egyesítjük (*Panofsky és Brier, 1963; Varga-Haszonits, 1986; 1987b; 1992*). *Fuqin és Guoliang (1991)* hasonló módszerrel végzett

számításokat búzára május harmadik dekádja középhőmérsékletének bevonásával.

Penning de Vries (1982) a meteorológiai hatásvizsgálatok szempontjából négy produkciós szintet különböztetett meg. Ő az egyes szintek szárazanyag termését is meghatározta, s annak alapján az egyes szinteket a csökkenő produktivitásnak megfelelő sorrendbe állította. Jelen munkában azonban az elemzést kizárólag a meteorológiai hatások szempontjából végezzük, ezért csak a hatótényezők csoportosítását vesszük figyelembe.

Az 1. produkciós szint csak akkor alakul ki, ha az egész tenyészidőszak folyamán kedvező mennyiségű talajnedvesség és kedvező mennyiségű tápanyag áll rendelkezésre. Ilyen körülmények között a növények életét elsősorban a meteorológiai tényezők határozzák meg. Így a tenyészidőszak folyamán általában a kisebb sugárzásmennyiség, és az alacsony hőmérsékletek jelentik a fontosabb befolyásoló tényezőket. E meteorológiai tényezők hazánk mérsékelt övi éghajlati viszonyai mellett az őszi gabonák vegetációs periódusára is jellemzőek.

A 2. produkciós szint legfontosabb jellemzője az időszakos vízhiány. Amikor azonban a víz elegendő mennyiségben áll rendelkezésre, akkor egyéb időjárási hatások válnak dominánssá. Ezek a viszonyok a mérsékelt övi éghajlatra és a szemi-arid zónákra jellemzőek, hazánk meleg-mérsékelt éghajlati viszonyai között pedig az év meleg időszakára, az egynyári növények vegetációs periódusára vonatkoznak elsősorban. E produkciós szint viszonyai között tehát a vízmérleg nyomon követése válik fontos feladattá.

A 3. produkciós szint akkor fordul elő, amikor a tenyészidőszak legalább egy részében nitrogénhiány lép fel. A nitrogén (N) hiánya a mezőgazdasági rendszerekben általában akkor alakul ki, amikor kis mennyiségű N-trágyát használnak. Ez a jelenség jellemzi a természeti viszonyok között élő növényeket.

A 4. produktivitási szint előfordulását a foszfor (P) és a kálium (K) alacsony szintje jellemzi, legalábbis a tenyészidőszak egy részében. Ez kedvezőtlen tápanyag ellátottsági viszonyokra utal, s a világ legszegényebb mezőgazdasági területein fordul elő.

Nagyon ritkán fordul elő, hogy e szintek valamelyikét pontosan a leírt formában észleljük, azonban a tényezők szintekre való leegyszerűsítése segíti az egyes gyakorlatban előforduló esetek elemzését. A szintek ugyanis valamelyik fontos környezeti tényezőhöz kapcsolódnak, így felhívják a figyelmet arra, hogy a növényre gyakorolt környezeti hatásban mely tényező játssza a fő szerepet.

Az alkalmazott módszer. Agrometeorológiai szempontból a növény és a környezete közötti kapcsolatot az alábbi összefüggéssel írhatjuk le (*Varga-Haszonits, 1992*):

$$Y(t) = f(Tm ,Tn) \qquad (15)$$

ahol Y(t) a t időpontban mért tényleges terméshozam, Tm a meteorológiai hatást kifejező tényező, Tn a nem-meteorológiai, agrotechnikai tényező (fajta, tápanyag, növényvédelem).

Az agrotechnikai és a meteorológiai hatás szétválasztása. Az agrotechnikai tényezők (fajta, tápanyag, növényvédelem) az egyik évről a másikra egy megyére vonatkozóan általában lassan változnak, megváltoztatásuk rendszerint fokozatos. Az ilyen jellegű változások meghatározása trendfüggvénnyel történhet *(Thompson, 1962; 1969; 1975, 1986).* A meteorológiai tényezők viszont egyik évről a másikra jelentősen módosulhatnak, s ennek hatására a tényleges terméshozamok a változás trendje körül ingadoznak. Ha a hasonló nagyságú időjárási változások hasonló nagyságú trendtől való eltéréseket okoznak, akkor a hatást additívnak tekintjük, s trendanomáliaként határozzuk meg. Ha pedig ugyanazon nagyságú meteorológiai hatások kisebb terméshozamok esetén kisebb, nagyobb terméshozamok esetén nagyobb trendeltéréseket idéznek elő, akkor a hatás multiplikatív jellegű, ezért trendarányként vesszük figyelembe. Ilyen módon a meteorológiai és agrotechnikai tényezők hatása elkülöníthető.

Mivel hazánkban az őszi árpa növekvő terméshozamai esetén az agrotechnikai szint körül növekvő ingadozás figyelhető meg, a hatások multiplikatív kapcsolatát feltételezhetjük *(Varga-Haszonits, 1986).* A trendfüggvénnyel leírt agrotechnikai hatást $Y_o(t)$-vel, az együttes meteorológiai hatást kifejező függvényt pedig f(M)-mel jelölve, a terméshozam Y(t) értéke így adható meg:

$$Y(t) = Y_o(t) \cdot f(M). \qquad (16)$$

Ebből a trendarány alapján meghatározható a meteorológiai hatásfüggvény:

$$\frac{Y(t)}{Y_o(t)} = f(M) \qquad (17)$$

A vizsgálatot a tenyészidőszak különböző természetes vagy naptári időszakaira vonatkozóan meteorológiai tényezőnként (m_1, m_2,...,m_k) elvégezve meghatározhatjuk, hogy mely meteorológiai elemek milyen időszakokban vannak hatással a terméshozamok alakulására. A vizsgálat során a meteorológiai tényezők hatását kifejező függvényt valamilyen többváltozós regressziós módszerrel becsülhetjük. A kapott meteorológiai hatásokat kifejező függvényt, amelyet becslőfüggvénynek ($Y(t)^*$) nevezünk, a következő formában írhatjuk fel:

$$Y(t)^* = Y_o(t) \cdot f(m_1) \cdot f(m_2) \cdots f(m_k) \qquad (18)$$

A reziduális közelítés módszerével végzett vizsgálat. A **(18) egyenlet** meghatározására szolgáló egyik lehetséges módszer a reziduumok elemzésére épülő (*Panofsky és Brier, 1963*), fokozatosan közelítő multiplikatív eljárással (szukcesszív approximáció), amellyel becsülhető a meteorológiai tényezők hatása, ezáltal a trendarány illetve a termés értékei is becsülhetők *(Varga-Haszonits, 1987b)*. A vizsgálatba bevont m_1, m_2,...,m_k meteorológiai tényezőket figyelembe véve előállítottuk az egymásra következő időszakok meteorológiai hatásainak multiplikatív függvényét a reziduális módszeren alapuló fokozatos közelítés eljárásával, a változókat egymás után bevonva a vizsgálatba. Az első lépésben a trendarány és a legkorábbi időszakhoz tartozó m_1 meteorológiai tényező kapcsolatát $f_1(m_1)$ határoztuk meg másodfokú függvénnyel:

$$\frac{Y(t)}{Y_o(t)} = f_1(m_1) \qquad (19)$$

Amennyiben az $f_1(m_1)$ meteorológiai hatásfüggvényre megfelelően magas korrelációs értéket kapunk, akkor előállíthatjuk az elsőként adódó becslőfüggvényt $(Y_1(t))^*$ is:

$$Y_1(t)^* = Y_0(t) \cdot f_1(m_1) \qquad (20)$$

Ezután a becslőfüggvénnyel kapott termésadatok és a tényleges termésadatok összehasonlítását kell elvégeznünk. Ha az összehasonlított értékek között nem kapunk megfelelő eredményt, akkor folytatjuk a vizsgálatot.

A következő lépésben a trendarány és az $f_1(m_1)$ függvényértékek hányadosát vizsgáltuk a következő meteorológiai elem, az m_2 függvényében, s ekkor kaptuk az $f_2(m_2)$ meteorológiai hatásfüggvényt:

$$\frac{Y(t)}{Y_o(t) \cdot f_1(m_1)} = f_2(m_2) \qquad (21)$$

Nem megfelelő eredmények esetén, az időben egymás után következő meteorológiai tényezők bevonásával folytatva az eljárást, a termést végül az alábbi multiplikatív függvénnyel becsülhetjük:

$$Y(t)^* = Yo(t) \cdot f_1(m_1) \cdot f_2(m_2) \cdots f_k(m_k). \qquad (22)$$

A termést az agrotechnikai hatást leíró trendfüggvényből és az egymás után következő időszakok meteorológiai hatásfüggvényeiből multiplikatív formában becsüljük. Ezt a módszert használhatjuk minden olyan esetben, amikor már ismerjük a termést. A módszer segítségével meghatározhatjuk, hogy milyen elemek és milyen erősséggel hatnak az őszi árpa termésének az alakulására. Ezután összehasonlíthatjuk a becsült és a tényleges termés adatokat.

A termés előrejelzése a reziduális közelítés módszerével. Amikor nemcsak az a célunk, hogy megvizsgáljuk: milyen tényezők és milyen mértékben hatnak a termésekre, hanem azt is akarjuk tudni egy meghatározott idővel az érés bekövetkezése előtt, hogy milyen mennyiségű termés várható, akkor a termésváltozás tendenciáját és az attól való eltérés nagyságát is előre kell jelezni.

Az általunk alkalmazott egyszerű módszerben a terméstrend értékét az előrejelzendő hozamra a megelőző hosszabb időszak trendfüggvényéből határoztuk meg. A tenyészidőszak alatt az egymást követő időszakok meteorológiai változóit pedig csupán a növény érését megelőző meghatározott időpontig vesszük figyelembe. Így a függvény változóit prediktor-változóknak tekinthetjük. Ebben az esetben a változás tendenciáját az előrejelzés évére is a trendfüggvény által leírt módon vesszük figyelembe.

Egy másik lehetőség a várható trendérték előrejelzésére, hogy a harmonikus súlyozású trendet használjuk. Ennek a módszernek az alapjait *Hellwig (1967)* fejtette ki, *Besenyei et al. (1977)* alkalmazta jövőkutatási célokra, agrometeorológiai alkalmazásával pedig *Varga-Haszonits (1992)* foglalkozott. Ez a módszer az előrejelzést megelőző évek terméstrendjeit nagyobb súllyal veszi figyelembe, mint a korábbi évekét.

A meteorológiai elemek közül azokat vesszük figyelembe, amelyek a terméselemzés során szignifikáns összefüggést mutattak és a prognóziskészítés időpontjában az adataik már rendelkezésre állnak. Ezek lesznek a prediktor-változók.

Verifikáció és validáció

Mind a verifikálás, mind pedig a validálás eljárása a számított és tényleges (mért) adatok összehasonlítását jelenti.

A verifikáció és validáció két általánosan elfogadott fogalom az agrometeorológiai modellezésben. A verifikáción egy olyan eljárást értünk, amelynek során meghatározzuk, hogy az adott adatbázison általunk kidolgozott számítási módszerrel kapott értékek mennyire egyeznek ugyanazon adatbázis tényleges értékeivel. Ha az egyezés nem kielégítő pontosságú, akkor vagy ugyanazon az adatbázison vagy egy másik adatbázison elkészítjük a számítási módszer korrekcióját és a korrigált módszerrel kapott értékeket megint összehasonlítjuk a korrigálás alapjául szolgáló adatbázis tényleges értékeivel *(Mavi és Tupper, 2004)*.

A verifikálás során az összehasonlítást rendszerint úgy végezzük el, hogy a két adatsor között lineáris összefüggést határozunk meg. Amennyiben a megegyezés nem teljes (azaz $y \neq x$), akkor az összefüggés paraméterei és korrelációs koefficiense mutatják meg, hogy mennyire szoros a kapcsolat a két adatsor között.

Validáción azt az eljárást értjük, amikor a modellel történő számítással meghatározott értékeket egy a kidolgozás alapjául szolgáló adatbázistól független adatbázis tényleges értékeivel hasonlítjuk össze *(Mavi és Tupper, 2004)*. Ezt megtehetjük úgy, hogy képezzük a becsült és tényleges értékek közötti különbségeket, s vesszük annak abszolút értékeit vagy meghatározzuk a becslés standard hibáját (a hibaszórást). A termésbecslés során a validálás azt jelenti, hogy megvizsgáljuk a becslési módszerrel meghatározott terméshozamok esetén a különböző nagyságú hibáknak mekkora az értéke és/vagy a gyakorisága. Ezt a tényleges és becsült termés közötti különbség nagyságának (a becslési hibának) a gyakoriságával lehet megadni. A becslés standard hibáját (a hibaszórást) a következő formában határozhatjuk meg:

$$\sigma_{HIBA} = \sqrt{\frac{(Y_t - Y_{sz})^2}{n}} \qquad (23)$$

ahol σ_{HIBA} a becslés standard hibája (a hibaszórás), Y_t a tényleges érték, Y_{sz} a számított érték és n pedig az esetek száma.

Az őszi árpa sugárzáshasznosítása

A sugárzáshasznosulás adatait hazánkban korábbi adatokon már elemezték *(Varga-Haszonits 1971, 1981*; *Szász, 1994; Varga-Haszonits et al., 1999*).

A sugárzáshasznosulási együttható meghatározása. Amennyiben ismerjük a gazdaságilag hasznos termést, valamint a HI (harvest index) értékét, - amelyet az árpa esetében 0,39-nek veszünk (*Varga-Haszonits, 1981*) - akkor számítani tudjuk a biomasszát (zöldtömeget) a **(13)** egyenlet segítségével.

Az őszi árpa és az őszi búza harvest index értékei egymástól nem térnek el jelentős mértékben, az irodalomban 0,36 és 0,55 közötti értékek

találhatók *(López és Arrúe, 1997; Delogu et al., 1998; Moret et al., 2007; Banedjschafie et al., 2008; Fletcher és Jamieson, 2009).*

A zöldtömegen kívül ismernünk kell még az egységnyi biomassza előállításához szükséges energiamennyiséget (Q_0). Ezt többnyire állandónak szokták venni (bár jelentős szórást mutat), s értékét 1 kg szerves anyagra vonatkozóan 17000 kJ-nak tekintik (*Penman, 1971*). Ennek megfelelően a növény által kémiailag megkötött energia mennyiségét a következőképpen tudjuk meghatározni:

$$Q_{NÖV} = Y_{BIO} \cdot Q_0 = \left(\frac{1}{HI} \cdot Y_{GAZD} \right) \cdot Q_0 \qquad (24)$$

A földfelszínre érkező összes energia mennyiségét folyamatosan mérjük a meteorológiai állomásokon. A vegetációs periódusra vonatkozó fotoszintetikusan aktív sugárzás értéke (FAKS) így a mért globálsugárzási adatokból vagy a napfénytartam méréseken alapuló számítási formulákból (*Varga-Haszonits és Tölgyesi, 1990*) meghatározható. Ennek megfelelően, ha a gazdasági termés adatai állnak a rendelkezésünkre, akkor a biomasszára vonatkozó sugárzáshasznosulás:

$$\varepsilon = \frac{\left(\frac{1}{HI} Y_{GAZD} \right) \cdot Q_0}{FAKS} \qquad (25)$$

Amennyiben a gazdaságilag hasznos termésre vonatkozóan szeretnénk meghatározni a sugárzáshasznosulást, akkor azt a következőképpen számíthatjuk:

$$\varepsilon = \frac{Y_{GAZD} \cdot Q_0}{FAKS} \qquad (26)$$

Az Y_{GAZD} kg/ha értékekben van megadva, a Q_0 kJ/kg-ban, a FAKS értékeket át kell számítani $kJ \cdot ha^{-1}$ értékekre. A kapott eredményt 100-zal szorozva %-os formában szokták kifejezni.

Az őszi árpa vízhasznosítása

A növények vízhasznosításának jellemzése úgy történik, hogy meghatározzuk azt a termésmennyiséget, amelyet a növény egységnyi vízmennyiség elpárologtatása mellett állít elő. A vízhasznosulási együtthatót (WUE = water use efficiency) ezért az alábbiak szerint határoztuk meg:

$$WUE = \frac{Y_{GAZD}}{E} \qquad (27)$$

ahol Y_{GAZD} a gazdaságilag hasznos termés (a szemtermés) kg/ha-ban kifejezett értéke, E a tényleges evapotranszspiráció a teljes vegetációs periódus alatt (eredetileg mm/ha értékben). Számításaink során a termésmennyiséget g/ha értékben, az elpárologtatott vízmennyiséget pedig kg/ha értékben adtuk meg.

10.13147/NYME.2013.018

3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

3.1. AZ ŐSZI ÁRPA TENYÉSZIDŐSZAKÁNAK AGROKLIMATOLÓGIAI JELLEMZÉSE

3.1.1 Az őszi árpa fenofázisainak statisztikai jellemzői

Az őszi árpát – mint magyar elnevezése is mutatja – ősszel vetik és a növény a következő év júniusában érik. A tenyészidőszaka ezért átnyúlik az év hideg időszakán (amikor a napi középhőmérsékletek a növény bázishőmérséklete alá csökkennek), ezért ez az időszak a növény nyugalmi időszaka. Majd a tavaszi felmelegedés során a napi középhőmérsékletek ismét a bázishőmérsékletek fölé emelkednek, s folytatódik a növény vegetatív tevékenysége.

Ahhoz, hogy az árpa tenyészidőszakának meteorológiai jellemzőit elemezni tudjuk, mindenekelőtt meg kell ismernünk az árpa vetésétől az éréséig terjedő tenyészidőszakának időbeli és térbeli változásait, ezen belül pedig az egyes fenofázisainak az alakulását.

A rendelkezésre álló fenológiai adatsorok mindegyikéből hiányoznak az 1982-es év adatai, ezért az ábrákon az 1982-es évnél az évi változásokat összekötő görbében szakadás látható. A megfigyelések minden állomáson az 1966/1967-es tenyészidőszakkal kezdődnek és három megfigyelőhelyen az 1993/1994-es tenyészidőszakkal, három megfigyelőhelyen pedig az 1996/1997-es tenyészidőszakkal zárulnak. Így három 27 év hosszúságú adatsor és három 30 év hosszúságú adatsor áll rendelkezésünkre az agroklimatológiai elemzéshez.

Az 1982 előtti adatsor a fajtakísérleti megfigyelő hálózatból (OMMI) származik, az 1982 utáni pedig az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSz) agrometeorológiai megfigyelő hálózatából. A két adatsor egyesítése azért volt lehetséges, mert a két megfigyelő hálózat állomásai - amint a korábbi felsorolásból is látható a reprezentativitást biztosító közelségben helyezkedtek el, legalábbis a fenológiai

szempontból legjelentősebb meteorológiai (termikus) elemek: a napsugárzás és a hőmérséklet szempontjából.

A tenyészidőszakon belüli fenológai jelenségek bekövetkezésének időpontjai

A **3. táblázat**ban látható, hogy az őszi árpát általában szeptember második felében vagy október elején vetik és június második felében aratják. Fontos, hogy a növény még a napi középhőmérsékletek őszi 5 fok alá süllyedése előtt kellőképpen megerősödjön, mert áttelelő képessége gyengébb, mint az őszi búzának. Különösen a hótakaró nélküli erős fagyokra érzékeny. Tavasszal a napi középhőmérsékletek 5 fok fölé emelkedése után újra megindul a növény vegetatív tevékenysége. A szárbaindulás április közepe táján következik be, a kalászolás pedig május közepe táján. A meteorológiai tényezők hatása e két időszak közötti vegetatív szakaszban erősebb, mint a kalászolás és érés (június harmadik dekádja) közötti reproduktív szakaszban.

3. táblázat Az őszi árpa fenológiai fázisai bekövetkezésének átlagos időpontjai (1967-1997)

Állomás	Vetés	Kelés	Szárba-indulás	Kalá-szolás	Viaszérés
Eszterág*	10.03	10.14	04.01	05.09	06.16
Debrecen*	09.27	10.14	04.18	05.13	06.22
Kompolt	10.03	10.20	04.21	05.14	06.21
M.óvár	09.29	10.13	04.16	05.12	06.21
Nyíregyh.	10.03	10.14	04.20	05.12	06.23
Tordas*	09.29	10.10	04.15	05.13	06.21

* 1967-1994 közötti megfigyelési időszak
M.óvár=Mosonmagyaróvár
Nyíregyh.=Nyíregyháza

A **3. táblázatban** feltüntetett fenofázisok alapján a **4. táblázat**ban található fázistartamokra osztható az őszi árpa vegetációs periódusa.

A vetés-kelés szakasz hossza átlagosan 11-17 napot tesz ki. Leghosszabb a kelés-szárbaindulás közötti időszak (169-189 nap), amely magába foglalja a téli nyugalmi időszakot. Az ország középső és északi területein lévő megfigyelőhelyeken ez még hosszabb (182-186 nap), mint a déli fekvésű Eszterágon (169 nap), ennek megfelelően a vegetációs periódus hossza is kissé megnyúlik ezeken az állomásokon. A tavaszi időszakban a szárbaindulás és a kalászolás illetve a kalászolás és a viaszérés közötti szakaszokban az egyes megfigyelőhelyeken észrevehető különbségek mutatkoznak. Ezek az ingadozások kihatnak a vegetációs periódus hosszának alakulására is.

4. táblázat Az őszi árpa fenofázisainak átlagos tartama (nap)

Állomás	Vetés-Kelés	Kelés-Szárba-indulás	Szárbaindulás-Kalászolás	Kalászolás-Viaszérés	Vegetációs periódus
Eszterág*	12	169	39	38	257
Debrecen*	17	186	25	40	267
Kompolt**	17	182	23	37	267
M.óvár**	12	186	27	39	264
Nyíregyh.**	11	189	22	42	269
Tordas*	12	186	28	39	265

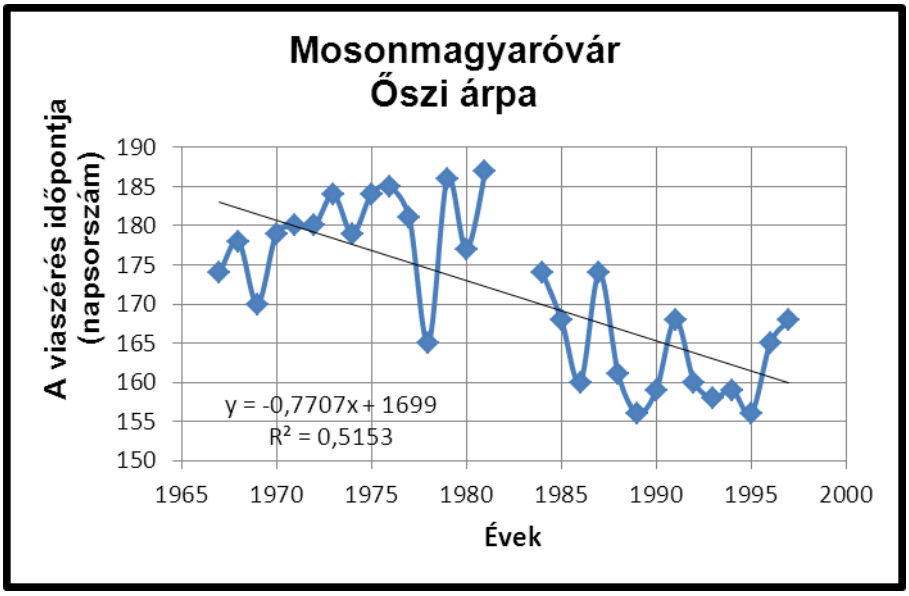
* 1967-1994 közötti megfigyelési időszak
** 1967-1997 közötti megfigyelési időszak
M.óvár=Mosonmagyaróvár
Nyíregyh.=Nyíregyháza

A fenológiai jelenségek időpontjainak évek közötti ingadozásai

A két táblázatban hat megfigyelőhelyen a fenofázisok bekövetkezési időpontjainak és a fenofázisok tartamainak átlagértékei láthatók. A vizsgált több mint 25 egymás utáni évben azonban az egyes fenofázisok bekövetkezési időpontjai és tartamai évről-évre jelentős változást mutatnak.

Természetesnek tartjuk, hogy a növények fenofázisainak bekövetkezési időpontjai évről-évre változnak. A kérdés az, hogy a

változások mutatnak-e valamilyen tendenciát. Megvizsgáltuk az őszi árpa 27 évi idősorán az egyes fenofázisok bekövetkezési időpontjainak évi ingadozásait. A **2. ábrán** bemutatjuk, hogy az 1965 és 2000 közötti időszakban hogyan változott évenként a viaszérés időpontja.



2. ábra. Az őszi árpa viaszérési időpontjának évi ingadozásai.

Látható a **2. ábrán**, hogy az 1982 előtti viaszérési időpontok inkább egy kisebb mértékű későbbi időpontra tolódást mutatnak, míg az 1982 utáni adatok jelentősen korábbi bekövetkezési időpontokat jeleznek. Nyílván ez utóbbi miatt - az egész 30 évi időszakot figyelembe véve - az érési időpontok határozott korábbra tolódásának tendenciája mutatkozik. Ha a változás tendenciáját egyenessel írjuk le, akkor évente 0,77 nappal, tehát 10 évente 7,7 nappal, vagyis kb. egy héttel került korábbi időpontra az őszi árpa érése hazánkban. Ennek egyaránt lehetnek fajtahasználati és hőmérsékleti változásokra visszavezethető okai.

Ha a **3. táblázatban** figyelembe vett fenológiai jelenségek időpontjainak évi tendenciáját megvizsgáljuk, a táblázatban látható középértékektől vett eltérések 10 évi átlagait **5. táblázatban** találhatjuk. Amikor a változást jelentő napok értéke előtt pozitív jel áll, akkor az a

fenológiai időpont későbbre tolódását, amikor pedig negatív jel áll, az a fenológiai időpontok korábbra helyeződését jelöli.
Az **5. táblázat** adatai azt mutatják, hogy a tavaszi időszakban bekövetkező fenofázisok: a kalászolás és a viaszérés időpontjai azok, amelyek korábbi időpontra helyeződtek át az elmúlt évtizedekben. A többi fenofázis bekövetkezési időpontjára nem lehet egyértelmű tendenciát megállapítani.

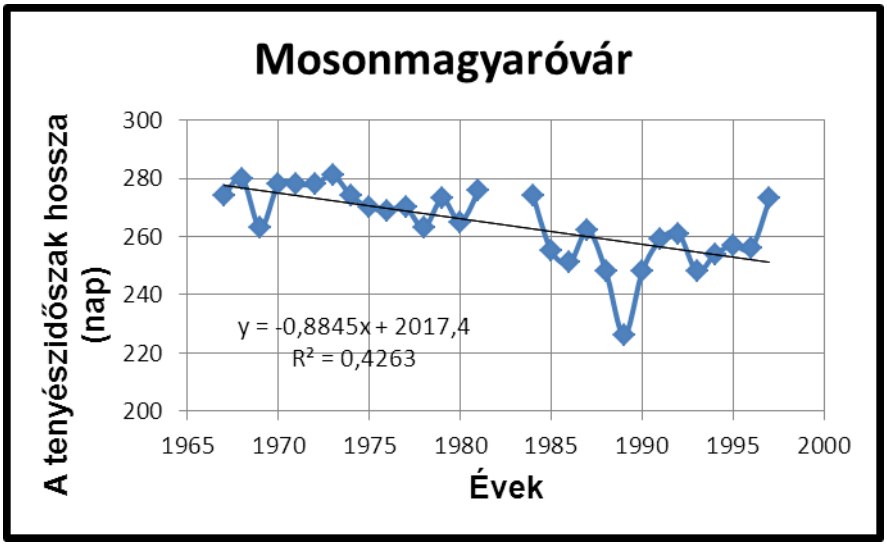
5. táblázat A fenofázisok bekövetkezési időpontjainak változékonysága (nap/10 év)

Állomás	Vetés	Kelés	Szárbaindulás	Kalászolás	Viaszérés
Eszterág*	-3,7	-0,5	+4,2	-6,1	-10,7
Debrecen*	-3,3	-6,6	-3,6	-6,5	-7,1
Kompolt**	-0,5	+3,5	-1,5	-3,7	-7,4
M.óvár**	+1,1	+3,7	-1,1	-5,7	-7,7
Nyíregyh.**	+1,5	+2,4	+1,5	-1,0	-3,8
Tordas*	+1,1	+4,2	-3,3	-5,8	-4,8

* 1967-1994 közötti megfigyelési időszak
** 1967-1997 közötti megfigyelési időszak
M.óvár=Mosonmagyaróvár

A fenofázisok időtartamainak évek közötti ingadozásai

Amint a 3. ábra mutatja az őszi árpa tenyészidőszakának hosszúsága is évről-évre változik, s az 1967 és 1997 közötti években a változás tendenciájában a tenyészidőszak hosszának a rövidülése tapasztalható. A vizsgálat többi (hosszú sorozattal rendelkező) megfigyelőhelyén is ugyanez a tendencia érvényesült.



3. ábra. Az őszi árpa tenyészidőszaka hosszának évenkénti változásai Mosonmagyaróváron

A fenológiai idősor 1982 előtti szakaszában a tenyészidőszak hossza lényegében 260 és 280 nap között ingadozott és az 1970-es évek vége felé a tenyészidőszak hossza közeledett a 260 nap hosszúsághoz, vagyis kissé rövidülő tendenciát mutatott. Az 1982 utáni időszakban a tenyészidőszak hossza egy-két év kivételével 260 napnál rövidebb volt, így a változás tendenciája a tenyészidőszak jelentős rövidülését mutatja, ami az ábrából is jól kivehető (5%-os szignifikancia szinten). Magyarázata az lehet, hogy a hőmérsékletváltozás a 80-as évek után emelkedő tendenciájú.

A tenyészidőszakon belüli egyes fenofázisok időtartamai szintén évről-évre változnak. Az őszi időszakban a vetés-kelés szakasz alapvetően hosszabbodást mutat (**5. táblázat** 3. oszlop), az áttelelés időszakát magába foglaló kelés-szárbaindulás szakasz két megfigyelőhelyen hosszabbodást, négy megfigyelőhelyen pedig rövidülést mutat. A tavaszi időszak fázistartamaira alapvetően a fázistartamok rövidebbé válása a jellemző, s a vegetációs periódus egészére ezek bizonyultak meghatározónak.

10.13147/NYME.2013.018

5. táblázat Az őszi árpa tenyészidőszakának és fenofázistartamai hosszának változásai (nap/10 év)

Állomás	Megfigyelési időszak	Vetés-Kelés	Kelés-Szárbaind	Szárbaind.-Kalászolás	Kalászolás-Viaszérés	Veg. per.
Eszterág	1967-1994	3,2	5,5	-10,4	-4,5	-6,2
Debrecen	1967-1994	-3,9	2,9	-2,8	-0,6	-3,8
Kompolt	1967-1997	4,0	-5,1	-2,2	-3,6	-6,9
Mosonmagyaróvár	1967-1997	1,9	-4,2	-4,5	-2,0	-8,8
Nyíregyháza	1967-1997	0,9	-2,8	-2,5	-2,8	-7,2
Tordas	1967-1994	3,1	-7,5	-2,5	1,1	-5,8

10.13147/NYME.2013.018

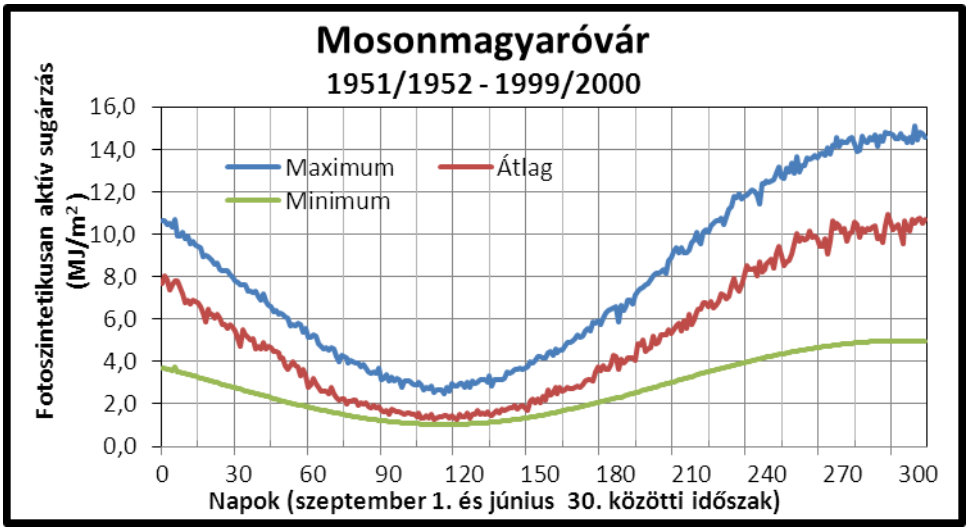
3.1.2 Az őszi árpa termesztésének éghajlati feltételrendszere

Az őszi árpa tenyészidőszakának termikus jellemzői

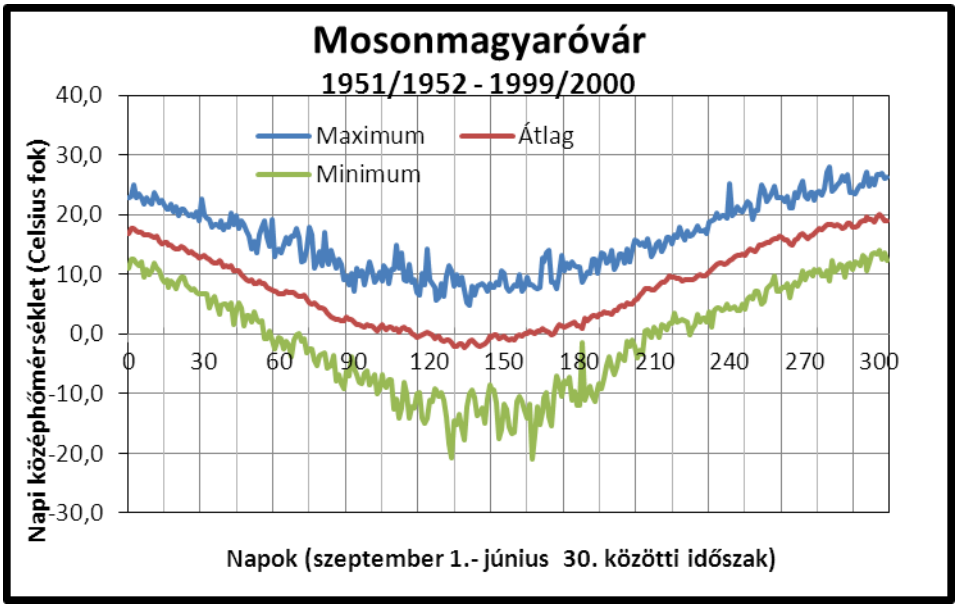
Napsugárzás. Az őszi árpa vetése az őszi napéjegyenlőség időpontja után történik, azaz a vetés után a nappalok hossza fokozatosan csökken, s ennek következtében egyre kevesebb energia éri el a földfelszínt.
Ebben az időszakban a földfelszínre érkező energiának nemcsak a mennyisége csökken, hanem mennyiségének ingadozása is. A napi maximumok és minimumok közötti intervallum egyre szűkül, egészen a téli napfordulóig, amikor a legrövidebbek a nappalok, s ennek megfelelően a napsugárzás mennyisége is minimumban van. Ettől kezdve a földfelszínre érkező napsugárzás mennyisége növekszik, a tavaszi napéjegyenlőség után pedig nemcsak a mennyisége, de a napi ingadozása is jelentősen meghaladja az őszi értékeket. (**4. ábra**) Az ábrán Mosonmagyaróvár adatain mutattuk be az árpa tenyészidőszakára jellemző sugárzási évi menetet. Természetesen a többi megfigyelő helyen is hasonló meneteket tapasztaltunk, csak az értékekben mutatkoztak különbségek.

A napsugárzás mennyisége az őszi árpa tenyészidőszaka alatt sohasem válik a növény fejlődését korlátozó tényezővé. A napsugárzás összetételét tekintve, az ultraibolya sugárzás jelenthet veszélyt olyan időszakokban, amikor a Földet védőpajzsként körülvevő ózonréteg megritkul *(Larcher 2003).* A nagyenergiájú ultraibolya sugarak ugyanis sejtroncsoló hatásúak.

Hőmérséklet. A hőmérséklet alakulása természetesen követi a földfelszínre érkező napsugárzás energiájának évi menetét (**5. ábra**), kivéve, hogy a minimum értéke később jelentkezik. Ennek oka abban keresendő, hogy a hőmérsékletet nem csak a besugárzás, hanem a kisugárzás is alakítja.



4. ábra. A fotoszintetikusan aktív sugárzás minimum, átlagos és maximum értékei az őszi árpa vegetációs periódusa alatt Mosonmagyaróváron



5. ábra. A napi hőmérsékletek alakulása az őszi árpa tenyészideje alatt (minimum, átlag és maximum értékek).

Az őszi vetés után a napsugárzás energiája egyre kisebb lesz, aminek következtében a napi hőmérsékletek is egyre csökkennek. Miközben azonban a napsugárzás mennyiségének fogyásával annak napi ingadozása is mérséklődik, a hőmérsékletnél éppen fordítva történik, az ingadozás napi intervalluma növekszik. Ez annak a következménye, hogy a téli időszakban megerősödik a ciklonáris tevékenység, s ezért a hideg és meleg légáramlatok gyakran váltják egymást. A tavaszi felmelegedés során a napi középhőmérsékletek emelkedésével a napi hőmérséklet-ingadozás kisebbé válik, mint ahogy azt a téli időszakban tapasztaltuk. Az őszi árpa tenyészidőszaka alatti hőmérsékleti menetet is Mosonmagyaróvár adatai alapján mutattuk be, azonban itt is elmondható, hogy a többi állomáson is hasonló az évi menet, csak az értékek változnak.

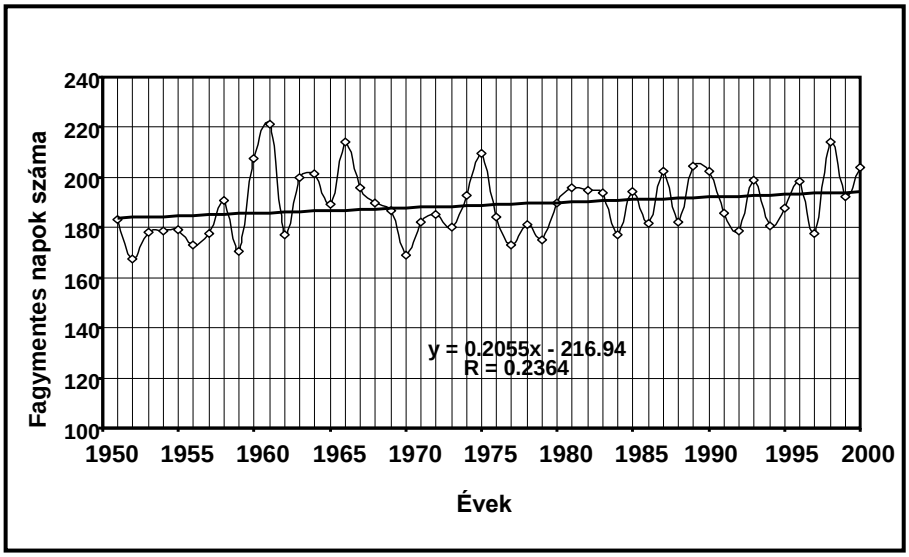
Bázishőmérséklet. Irodalmi adatok alapján ismerjük azokat a hőmérsékleti küszöbértékeket, amelyek az őszi árpa növekedését, fejlődését és produktivitását befolyásolják. Ezeknek az adatoknak a használatánál sok esetben nehézséget jelent azonban, hogy nem ismerjük a mérési adatok eredetét. Az irodalomban található értékeket azonban széleskörűen használják, ezért mi is ezeket az adatokat vetjük össze a hazai meteorológiai hálózatban mért napi középhőmérséklet és maximum hőmérséklet értékekkel.

Az őszi árpa bázishőmérséklete (T_b) - mint már említettük - 3-5 Celsius fok, vetése azonban szeptember második felében történik, amikor a napi középhőmérsékletek többnyire még 10 felett vannak. Fokozatosan csökkenő napi középhőmérsékletek mellett megy végbe a kelés és sok esetben a bokrosodás is. November közepére a napi középhőmérsékletek elérik az 5 fokot. Mivel azonban a talajok őrzik a hőt, az őszi lehűlés során még az 5 fok alatti értékek esetén is tapasztalható vegetatív tevékenység. S bár ősszel ezért inkább a 3 fok átlépése jelenti a nyugalmi időszak kezdetét, általánosan elfogadott, hogy az őszi gabonák esetében 5 fokos bázishőmérsékletekkel számolunk.

A bázishőmérséklet általában valamilyen statisztikai módszerrel adható meg. Ellenőrzött hőmérsékleti viszonyok között végzett kísérlet adataiból a T_b extrapolációval számítható ki, miután meghatároztuk a hőmérséklet és a fejlődési sebesség közötti lineáris kapcsolatot (*Arnold, 1959; Jones, 1983; Warrington és Kanemasu, 1983a, 1983b; Scott et al., 1984; Wiese és Binning, 1987*). T_b alatt tehát azt a hőmérsékletet értjük,

amelynél nullának tekinthető a növény fejlődési sebessége (*Narwal et al., 1986; McMaster és Smika, 1988; Kirby, 1995*).
A bázishőmérséklet különböző az egyes növényfajták és kultúrák esetében, valamint a növény fejlődése során az egyes fenofázisok alatt is változik (*Mederski et al., 1973*).

Alacsony hőmérsékletek. Az 5 fok őszi átlépése és tavaszi átlépése közötti nyugalmi időszakban elsősorban az alacsony hőmérsékletek vannak hatással a növényre. Ezért megvizsgáltuk a 0, -5, -10, -15 és -20 fok alatti minimumok előfordulásának a gyakoriságát **(6. táblázat).**



6. ábra. A fagymentes időszakok hosszának területi átlagai 1951-2000 (országos átlag)

Ha megvizsgáljuk a 20. század második felében a fagymentes időszakok területi átlagainak évenkénti változásait, akkor azt láthatjuk, hogy ha a változást lineáris függvényként ábrázoljuk, akkor a fagymentes időszak hossza nincs hatással az őszi árpára. (**6. ábra**).

A **6. táblázatból** kitűnik, hogy a 0 és -5 fok közötti, a -5 és -10 fok közötti, a -10 és -15 fok közötti, a -15 és -20 fok közötti, -20 fok alatti minimum értékek átlagos gyakoriságai rendre 58, 21, 8, 3, 1. Látható az is, hogy -10 fok alatti hőmérsékletek átlagos gyakoriságában lényeges területi különbséget már nem tapasztalunk.

10.13147/NYME.2013.018

6. táblázat Az alacsony hőmérsékletek gyakoriságai 1951-1990 évek között (november 1. - március 31.)

Állomás	Alacsony hőmérsékleti minimumok gyakoriságai														
	0 és -5 °C között			*-5 és -10 °C között*			*-10 és -15 °C között*			*-15 és -20 °C között*			*-20 °C alatt*		
	min	*átl*	*max*	*min*	*átl*	*max*	*min*	*átl*	*max*	*min*	*átl*	*max*	*min*	*átl*	*max*
Miskolc	42	62	82	4	26	51	0	10	29	0	3	15	0	1	9
Kaposvár	27	57	113	2	18	43	0	7	26	0	3	15	0	1	6
Kecskemét	33	56	75	1	21	39	0	8	26	0	2	18	0	1	6
Mosonmagyaróvár	31	57	78	4	19	51	0	7	30	0	2	12	0	0	5
Nyíregyháza	29	60	81	8	23	48	0	10	35	0	3	16	0	1	8
Békéscsaba	24	55	78	2	22	40	0	9	31	0	4	22	0	1	5
Szolnok	24	57	80	2	22	38	0	8	26	0	3	18	0	1	8
Minimum:	24	55	75	1	18	38	0	7	26	0	2	12	0	0	5
Átlag:	30	58	84	3	21	44	0	8	29	0	3	17	0	1	7
Maximum:	42	62	113	8	26	51	0	10	35	0	4	22	0	1	9

10.13147/NYME.2013.018

Optimum hőmérséklet. A fotoszintézis szempontjából a 20 és 25 fok közötti hőmérsékletek a kedvezőek. Ekkor képződik a legnagyobb mennyiségű szerves anyag. Ha a **5. ábrára** tekintünk, láthatjuk, hogy az 50 évi napi középhőmérsékletek az őszi árpa tenyészidőszaka folyamán nem emelkednek 20 fölé, és a maximumok is csak május vége felé. Ha azonban a napi középértékben a 15 fokot tekintjük optimumnak, akkor májusban már kedvezőek a napi középhőmérsékletek az őszi árpa számára. Ez már a virágzás és a magképződés időszaka.

Magas hőmérsékletek. A 30 fok feletti napok száma átlagosan 10 körüli, illetve a 35 fok feletti értékek 0-1 gyakorisággal fordulnak elő. Átlagosan a legtöbb 30 fok fölötti értéket az Alföldön, a legkevesebbet Nyugat-Magyarországon mérték, 35 feletti érték pedig a Dunántúlon nem fordult elő a vizsgált időszakban (**7. táblázat**). Le lehet tehát vonni azt a következtetést, hogy hazánkban az őszi árpa fotoszintézisét kedvezőtlenül befolyásoló ~~a~~ magas hőmérsékletek az árpa tenyészideje alatt viszonylag ritkán alakulnak ki.

Ami az évi legmagasabb maximum értékek ingadozását illeti, az 1950 és 1970 közötti időszakban csökkenő tendenciát mutattak. Az 1970-es években voltak az évi legalacsonyabb maximumok, majd 1970-től ismét az emelkedő tendencia volt a jellemző. Ez a tendencia párhuzamos változást mutat az évi középhőmérsékletekkel.

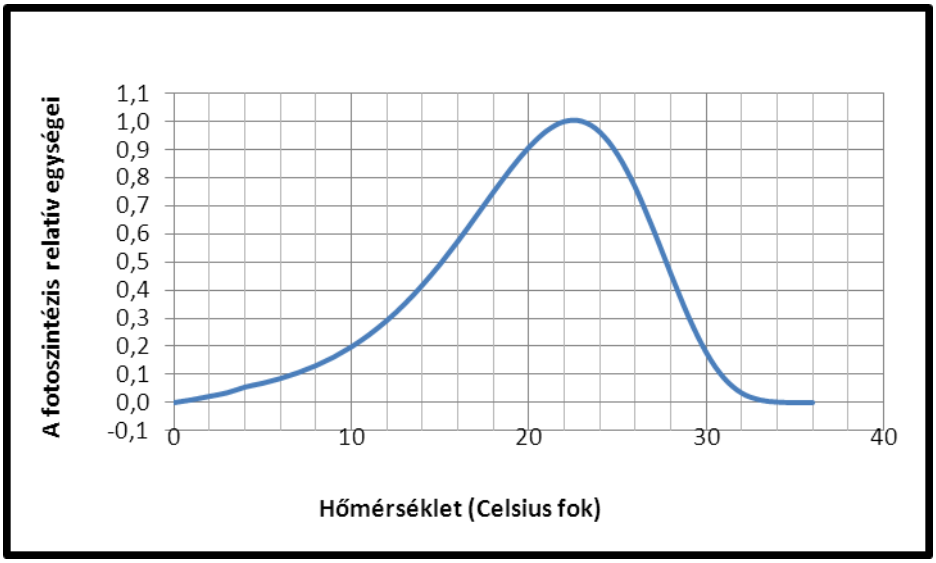
7. táblázat A magas hőmérsékletek gyakoriságai 1951-1990 években (október 1. - május 31.)

Állomás	Magas hőmérsékleti maximumok gyakoriságai					
	30 °C felett			35 °C felett		
	min	átlag	max	min	átlag	max
Miskolc	0	8	21	0	1	7
Kaposvár	0	8	23	0	0	5
Kecskemét	0	9	24	0	1	8
Mosonmagyaróvár	0	7	23	0	0	5
Nyíregyháza	0	8	19	0	1	8
Békéscsaba	1	12	30	0	1	9
Szolnok	0	10	23	0	1	8

A tenyészidőszakok középhőmérsékletei. Az őszi árpa tenyészidőszakának termikus jellemzői, elsősorban a hőmérséklete, összehasonlítva az egynyári növények tenyészidőszakának termikus jellemzőivel és az év átlagos termikus jellemzőivel azt mutatja, hogy ez az időszak az év hűvös időszaka **(8. táblázat).** Megfigyelhető, hogy a 20. század utolsó 50 évében az őszi árpa és a kukorica tenyészidőszakának, valamint a naptári év középhőmérsékletének az egymáshoz való viszonya lényegében nem változott.

8. táblázat. Az őszi árpa és a kukorica tenyészidőszakának, valamint a naptári évnek a középhőmérsékletei az 1951 és 2000 közötti öt évtizedben (országos átlag)

	Napi középhőmérsékletek országos átlagai (°C)				
	1951-1960	**1961-1970**	**1971-1980**	**1981-1990**	**1991-2000**
Őszi árpa tenyészidőszaka (szept. 1.-jún. 30.)	8,2	7,9	7,9	7,9	8,3
Évi középhőmérséklet (jan. 1.-dec. 31.)	10,4	10,0	9,9	10,1	10,5
Kukorica tenyészidőszaka (ápr.1.-okt. 31.)	16,3	16,2	15,3	16,0	16,4



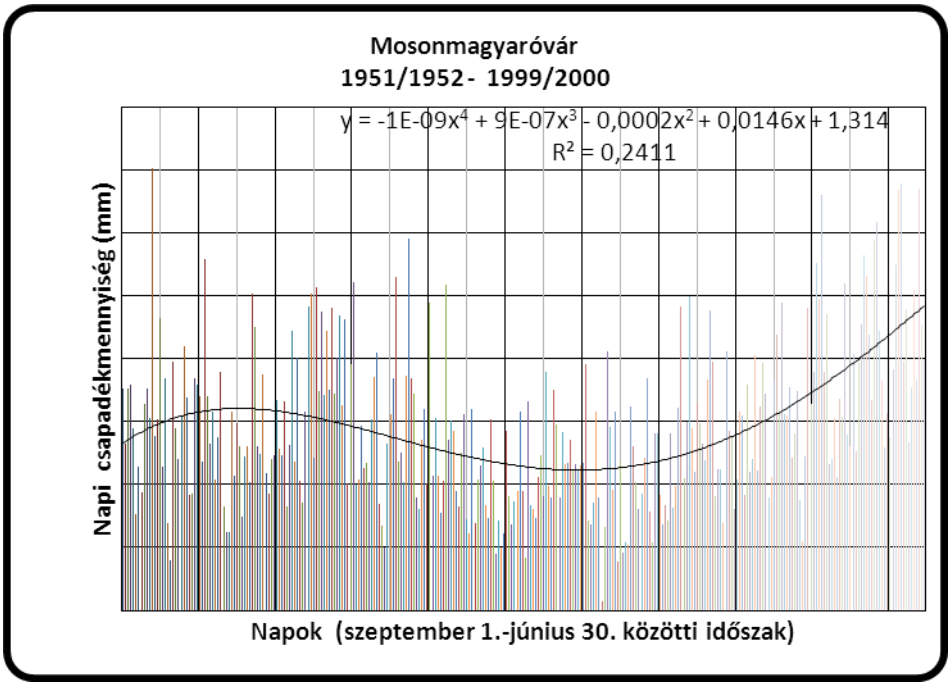
7. ábra. Az őszi árpa hőmérséklet-fotoszintézis görbéje

Az őszi árpa tenyészidőszakának kardinális (minimum, optimum és maximum) hőmérsékletei alapján felrajzolható a növény hőmérséklet-fotoszintézis görbéje, vagyis az, hogy hogyan hat a hőmérséklet a növény fotoszintézisére **(7. ábra)**. Ezen alapul például *Wang és Engel (1998, 2000)* modellje a búza fenológiai fejlődésére.

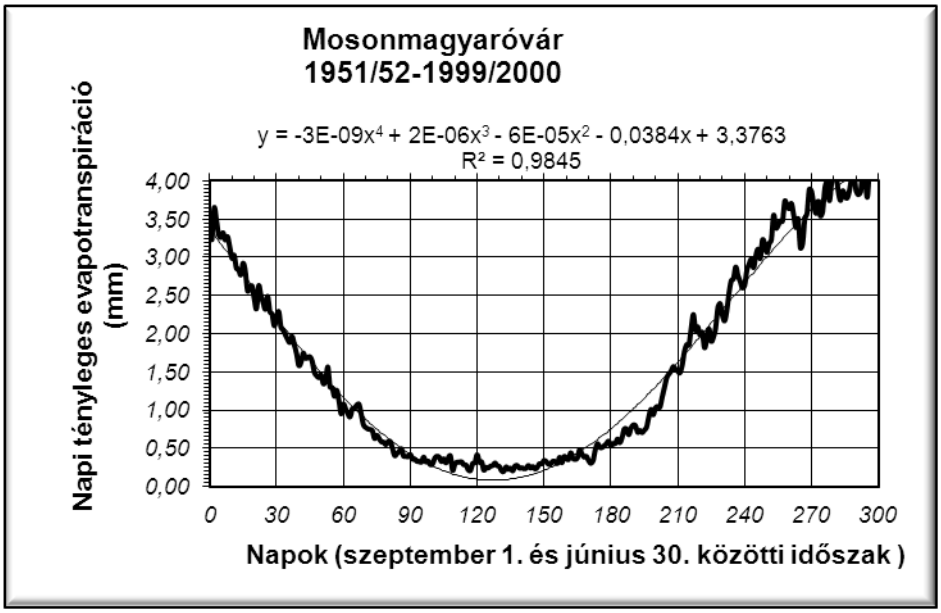
Az őszi árpa tenyészidőszakának higrikus jellemzői

A növények vízellátottságának tanulmányozásához a vízháztartás legfontosabb tényezőit kell figyelembe venni. A vízháztartás tényezői közül a legjelentősebb vízbevételi forrást a csapadék jelenti. A víztárolás a talajban történik, onnét veszi fel a növény a vizet. A talajban lévő víz tehát egyrészt a növényen keresztül távozik a levegőbe, másrészt a növény alatti talajból is párolog víz. A kettőt együtt nevezzük evapotranszspirációnak. A talajban lévő vízben oldódnak a talajban található tápanyagok is, ezért a víz nemcsak szervetlen anyag forrása a fotoszintézisnek, hanem egyéb tápanyagokat is szállít az asszimiláció színhelyére. A víz tehát az energiával együtt nélkülözhetetlen környezeti eleme a növényi életnek.

Csapadék. A csapadék évi menetét Mosonmagyaróvár adatai alapján mutatjuk be (8. ábra). Ez az évi menet jellemző a hazai állomásokra. Az őszi árpa vetése utáni időszakban a csapadék megnövekszik. Mediterrán hatásra novemberben hazánkban a csapadék másodmaximuma alakul ki, ami rendkívül előnyös abból a szempontból, hogy ennek a lehullott csapadéknak nagy része a talajban fog tárolódni, mivel a téli alacsony párolgási viszonyok miatt kevés a vízveszteség.
A téli hónapokban hullik hazánkban a legkevesebb csapadék. Februárban van a csapadék minimuma. A kevés párolgás miatt azonban ennek a csapadéknak a jelentős része is képes a talajba szivárogni, ha nem fagyott a talaj. Márciustól júniusig a havi csapadékösszegek fokozatosan növekszenek. Júniusban van a csapadék főmaximuma.



8. ábra A napi csapadékmennyiség alakulása az őszi árpa tenyészidőszaka alatt Mosonmagyaróváron



9. ábra A napi tényleges evapotranszspiráció alakulása az őszi árpa tenyészidőszaka alatt Mosonmagyaróváron

Az őszi árpa vízigénye. A növények vízigénye két összetevőből áll: a statikus vízigényből, amely arra vonatkozik, hogy a növényállomány alatti talajban az adott növény számára kedvező mennyiségű nedvesség legyen és a dinamikus vízigényből, amely a kedvező talajnedvesség-ellátottság mellett elpárologtatható vízmennyiséget jelenti.

A kedvező talajnedvességi szint iránti igény azt jelenti, hogy ha az őszi árpa állomány alatti talaj nedvességtartalma ebbe a tartományba esik, akkor a növény könnyen fel tudja venni a talajból a vizet, amelyet azután a biomassza-gyarapítására használt vízmennyiségen felül a levegőbe párologtat. Ha a talajból felvett vízmennyiségnek nincs utánpótlása (csapadék, öntözővíz), akkor a talajban lévő nedvesség szintje fokozatosan csökkeni fog. Ha a talaj nedvességtartalma eközben a kedvező talajnedvességi szint alsó határa alá süllyed, akkor a növény egyre nehezebben veszi fel a vizet, ami már kedvezőtlen a számára. Célszerű tehát a talajnedvességi szintet a kedvező tartományban tartani. Ezt úgy lehet elérni, hogy a talajból felvett és a levegőbe elpárologtatott

vizet folyamatosan pótoljuk oly módon, hogy a talajnedvességi szint ne süllyedjen a kedvező szint alsó határa alá.

A növények talajnedvesség iránti igénye növényenként és fejlődési fázisonként is változhat. A talajnedvesség szint iránti igényben is vannak kritikus időszakok. Ez az időszak általában a virágzás körüli időszak.

Egy növény számára kedvező talajnedvességi intervallum (tartomány) meghatározásához azt a legalacsonyabb talajnedvességi értéket kell ismerni, amely felett már a növénynek elegendő mennyiségű, könnyen felvehető víz áll a rendelkezésére. A tartomány felső határa – mint korábban már jeleztük – az a talajnedvességi érték, amely felett a víz már oly mértékben kiszorítja a levegőt a talaj pórusaiból, hogy az a növények számára kedvezőtlen. Ez rendszerint a szántóföldi vízkapacitás körüli érték. A talajnedvesség-igényt (TNI) tehát úgy határozhatjuk meg, hogy az a kedvező talajnedvesség-tartomány alsó határát (KW_{AH}) meghaladó talajnedvesség érték, vagyis

$$TNI \geq KW_{AH} \qquad (28)$$

Amikor a talaj nedvességtartalma az adott alsó határ felett van akkor a növény számára a talajnedvesség kedvező a terméshozam kialakítása szempontjából is. A növénynek ahhoz, hogy szerves anyagot tudjon előállítani, meghatározott mennyiségű víz elpárologtatására van szüksége. Ezt a vízmennyiséget a talajban tárolt víz biztosítja.

A növényállományokról történő párolgás esetén, amíg a talajban lévő vizet a növény könnyen fel tudja venni, addig az evapotranszspiráció alapvetően a napsugárzás energiájától és a levegő párabefogadó képességétől függ. Amikor a talaj felső rétegei szárazabbá válnak, akkor a talajnak a fizikai tulajdonságai (szerkezete, vízvezető képessége stb.) egyre fontosabbak lesznek, mert a vizet a felső rétegekbe kell vezetni ahhoz, hogy elpárologhasson. A **9. ábra**, amelyen – Mosonmagyaróvár adatai alapján – az evapotranszspiráció tenyészidőszak alatti menete látható, azt mutatja, hogy nemcsak a talajnedvesség tartalma, hanem a légköri viszonyok (sugárzás, hőmérséklet, légnedvesség) is befolyásolják a párolgást. A hazai állomásokra ez az évi menet általánosan jellemző.

Posza (*1984*) szerint párolgási vízigényen azt a vízmennyiséget értjük, amelyet a növények kedvező talajnedvességi szint esetén, adott

meteorológiai viszonyok között, a testtömegük felépítéséhez felhasználnak és a növényállomány alatti talajon keresztül, valamint a transzspirációjuk révén a levegőbe párologtatnak. Ez pedig kedvező talajnedvességi viszonyok esetén egyenlő a növények által a talajból felvett vízmennyiséggel, ami megközelítőleg azonos a potenciális evapotranszspiráció értékével.

A párolgási vízigényt (PVI) tehát a potenciális evapotranszspiráció (PE) meghatározására szolgáló formulával számíthatjuk:

$$PVI = PE = k(t) \cdot E_0 \tag{29}$$

ahol k(t) a növényekre jellemző paraméter, E_0 pedig a levegő párologtató képessége (potenciális párolgás). A k(t) érték növényi paraméterként történő meghatározását *Varga-Haszonits et al. (2006a)* munkája alapján használjuk, ahol a t a paraméter időben változó jellegét mutatja. Ez lényegében megfelel *Doorenbos és Kassam (1979)* munkájában a növényfejlődéstől függő kc (crop coefficient) értékének. Attól függően változnak azonban a k(t) értékei, hogy az E_0 potenciális párolgás értékét milyen módszerrel határozzuk meg (*Antal és Posza 1970; Posza 1980; Posza és Stollár 1983)*.

A tenyészidőszak alatti potenciális párologtatás meghatározásához az október és június hónapok adatait vettük figyelembe, mert a növényen keresztüli párologtatás (transzspiráció) csak a kelés után lehetséges. A kelés pedig általában október folyamán következik be.

A **9. táblázat** utolsó oszlopában lévő adatok alapján láthatjuk, hogy az őszi árpa párolgási vízigénye hazánkban 350 mm és 470 mm között változik. A tenyészidőszakon belüli időbeli változásra az jellemző, hogy a növény a legtöbb vizet a tavaszi-nyári fejlődése során párologtatja el. Ekkor még viszonylag magas a talaj nedvességtartalma, fokozatosan növekszik a lehulló csapadékmennyiség is márciustól júniusig; ez biztosítja a növény számára a vízutánpótlást, a fokozatos tavaszi felmelegedés pedig a párolgáshoz szükséges energiát szolgáltatja.

A területi változás nem a nedvesség területi eloszlását, hanem a napsugárzás (a párolgáshoz szükséges energia) területi eloszlását követi. Így az északi területeink mellett a hűvösebb nyugati és északkeleti országrészben kisebb a potenciális párolgás, ami 350 és 400 mm között

változik. Az ország melegebb középső és déli területein pedig a potenciális párolgás 400-470 mm között ingadozik.

Kedvező és kedvezőtlen talajnedvességű időszakok. A talajba jutó víznek jelentős részét a talaj a nehézségi erővel szemben képes megtartani, s a talaj felső rétegeiben tárolni. Ennek a vízmennyiségnek a szántóföldi vízkapacitás és a hervadási pont közötti része a hasznos víztartalom, amelyet a növények képesek felvenni és az asszimiláció során hasznosítani. Ennek a víztartalomnak van egy alsó határa, amely felett a növény a vizet könnyen felveszi. Ezért az ezen érték feletti vízmennyiséget kedvező víztartalomnak nevezzük. Ez a határérték az őszi árpa esetében a hasznos víztartalom 45%-nál van *(Szalóky, 1991).* Amint a **10. ábrán** jól megfigyelhető, az 50 évi középértékek ezen érték felett vannak.

Az őszi árpa esetében lényegében az egész vegetációs periódus alatt előfordulhatnak olyan időszakok, amikor a talaj nedvességtartalma eléri a maximális hasznos víztartalmat (a hasznos vízkapacitást). Ezért az őszi árpa vegetációs periódusát október 1 és július 31 közötti időszak alapján bemutató **10. ábrán** a maximális talajnedvességeket nem tüntettük fel. Az átlagértékeket és a minimumokat mutatjuk be, Mosonmagyaróvár adatai alapján az 1951-2000 közötti időszakra vonatkozóan. Az x tengely beosztását azért osztottuk 30-as egységekre, hogy október 1-től kiindulva az egyes hónapok közelítő pontossággal követhetők legyenek.

A **10. ábra** tehát Mosonmagyaróvár alapján mutatja be az őszi árpa tenyészidőszaka alatti talajnedvesség évi menetét, de a változások tendenciáját tekintve ezek az adatok is a hazai állomásokra általános jellegűek. Az ábrán a talajnedvesség adatok relatív értékei láthatók. Ezek az értékek – amint azt a 2. fejezetben bemutattuk – a felső 1 m-es talajrétegben lévő tényleges hasznos víztartalomnak a maximális hasznos víztartalomhoz viszonyított arányát mutatják.

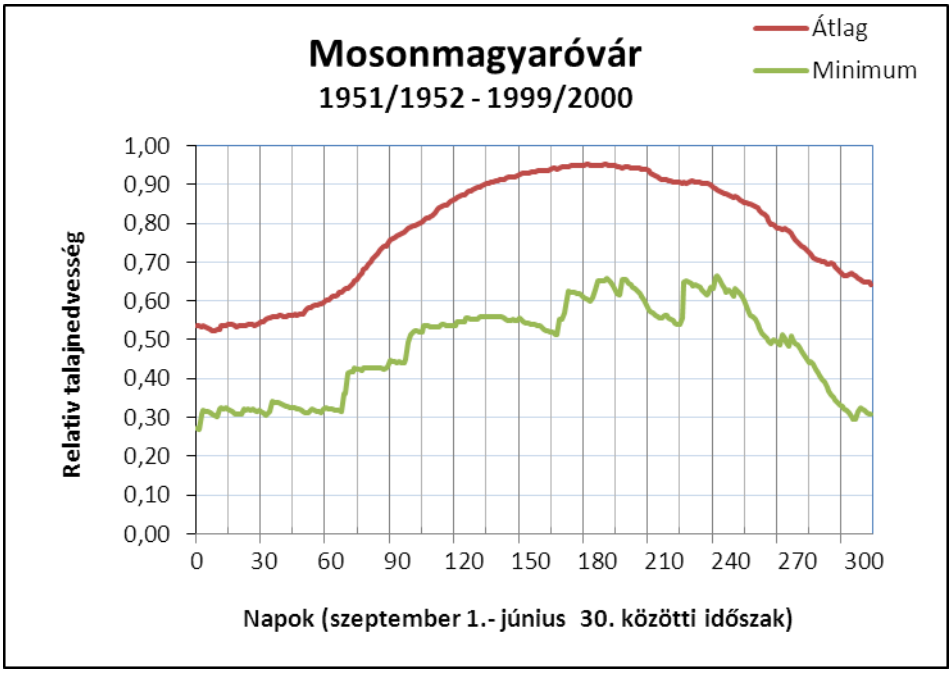
10.13147/NYME.2013.018

9. táblázat A potenciális evapotranszspiráció havi átlagai az őszi árpa tenyészidőszaka folyamán (1951-2000)

Megfigyelő-hely	Hónapok									10.-6. hónap
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	
Békéscsaba	64,3	23,3	9,1	6,5	11,6	38,7	49,0	96,7	125,3	424,3
Budapest	66,8	23,3	9,9	8,0	13,9	43,4	56,1	106,5	140,8	468,6
Debrecen	59,1	21,5	8,1	5,7	9,9	34,6	47,3	95,8	124,1	406,1
Győr	59,2	24,7	12,1	9,6	14,8	39,8	48,7	95,7	124,8	429,5
Iregszemcse	57,1	23,4	10,3	8,7	14,2	37,4	47,3	92,9	119,2	410,6
Kecskemét	60,6	22,2	9,7	7,5	12,8	37,9	49,7	101,0	136,1	437,5
Kompolt	60,9	20,0	8,0	6,7	10,1	35,8	49,2	98,0	128,8	417,6
Miskolc	50,0	16,6	6,2	5,6	8,8	33,8	46,7	91,1	119,1	377,9
Mosonmagyaróvár	49,2	20,2	10,0	8,1	12,3	32,5	42,9	85,8	111,7	372,6
Nyíregyháza	54,0	19,4	6,9	5,6	9,0	34,1	49,6	97,9	123,9	400,4
Pécs	70,7	27,1	13,2	10,3	17,4	45,2	51,0	99,6	130,2	464,6
Szeged	68,3	24,2	9,3	7,0	12,4	39,7	49,3	98,6	130,4	439,3
Szolnok	61,7	21,2	8,6	6,5	11,3	37,6	48,6	97,0	127,6	420,0
Szombathely	46,1	18,1	8,1	6,8	11,9	32,3	40,9	79,3	103,8	347,3
Zalaegerszeg	47,2	20,9	9,4	8,2	13,9	36,3	43,7	83,1	106,8	369,5
Országos átlag	58,3	21,7	9,3	7,4	12,3	37,3	48	95	124	412,4

10.13147/NYME.2013.018

Ha az átlagértékeket ábrázoló görbét követjük nyomon, akkor látható, hogy az őszi árpa vegetációs periódusa alatt, a vetést követő időszakokban a talaj nedvességtartalma fokozatosan emelkedik. November hónapban (az október elsejét követő 70. nap táján), amikor a csapadék másodmaximumából származó csapadékmennyiség lehull, a talaj átlagos nedvességtartalma meghaladja a hasznos vízkapacitás 80%-át. Ez az állapot nagyjából az október 1-től számított 220. és 230. nap közötti időig (május közepéig) tart. Ebben az időszakban áll a legtöbb talajnedvesség az őszi árpa rendelkezésére. Ezután a talaj átlagos víztartalma fokozatosan csökken az aratásig, de az átlagértékek nem csökkennek 60% alá.



10. ábra A relatív talajnedvesség értékei (átlag, minimum) az őszi árpa tenyészidőszakában Mosonmagyaróváron

A minimum értékeket mutató görbe évi menetéből kiolvasható, hogy a szeptember 1-ét követő első 90 napban (szeptember, október és november hónapokban) az őszi árpa alatti talaj nedvességtartalma lecsökkenhet a kedvező talajnedvesség 45%-os kritikus értéke alá. December elejétől május végéig (a szeptember 1-et követő 90. és 270. nap között) azonban a talaj átlagos nedvességtartalma is a kedvező tartományba esik. Csak május vége után várható ismét, hogy a talaj nedvességtartalma a kedvező tartomány alsó szintje alá kerülhet.

A talajnedvesség ábra jól mutatja, hogy a csapadék alapján nem lehet megfelelő képet kialakítani a növények vízellátottsági viszonyairól. Amint a **8. és 10. ábrákon** bemutatott időbeli menetek mutatják, a talajnedvességnek éppen akkor van maximuma, amikor a csapadéknak minimuma. Ez úgy lehetséges, hogy a csapadék másodmaximumából, a télen lehullott csapadékból és a hóolvadásból a talajba jutó víz, a téli alacsony párolgási energia miatt jelentős részben a talajban marad, és ott felhalmozódik.

A növények számára van egy olyan talajnedvesség-intervallum, amely számukra kedvező mennyiségű, könnyen felvehető vizet tartalmaz. A kedvező szintnek van egy felső és egy alsó határa. *Szalóky (1989)* a vízkapacitásig telítetett állapotot tekinti a kedvező szint felső határának, erősen kötött talajon pedig ennél valamivel alacsonyabb telítettségi állapotot.

A **10. táblázat** mutatja az őszi árpa tenyészidőszaka folyamán a relatív talajnedvesség havi átlagait a maximális hasznos víztartalom százalékában kifejezve.

A táblázatból kitűnik, hogy a vizsgált megfigyelő helyeken az átlagértékek alapján a tenyészidőszak folyamán csak a szeptember hónap (a vetés időszaka) az, amikor az átlagértékek az árpa számára kedvező talajnedvesség alsó határa alatt maradnak. Ennek alapján azt mondhatjuk, hogy az őszi árpa tenyészidőszaka alatt átlagosan kedvezőnek mondható a vízellátottság, mert a talajnedvességi viszonyok az őszi árpa igényét kielégítik.

Természetesen a kedvező átlagos viszonyok nem jelentik azt, hogy nem fordulnak elő olyan évek, amelyekben egyes időszakok folyamán a talajnedvesség szintje 45% alá süllyed. Erről gyors áttekintést kaphatunk, ha a relatív talajnedvesség havi minimum értékeket is táblázatba foglaljuk (**11. táblázat**). Látható a **11. táblázatból**, hogy az egyes években számolni kell azzal, hogy a szeptember és január közötti időszakban az őszi árpa vízellátottsága nem kielégítő. Még januárban is

két déli fekvésű megfigyelőhelyen (Szeged, Pécs) előfordulhat, hogy a kedvező talajnedvesség-szint alatt marad a talajnedvesség tartalma. Az őszi árpa tenyészidőszakában azonban van négy olyan hónap (januártól áprilisig), amikor csak egy-két helyen fordul elő olyan év, amikor az őszi árpa talajnedvesség-szintje a 45%-os kedvező szint alá süllyed. Még május hónapban is a megfigyelő helyek többségében meghaladja a minimális talajnedvességszint a 45%-os kedvező küszöbértéket. Júniusban viszont – bár hazánkban ez a legcsapadékosabb hónap – a talajnedvesség szintje a szárazabb években minden megfigyelőhelyen alatta maradhat a kedvező szint alsó határának. Lényegében tehát az őszi árpa számára az őszi hónapok és a december, valamint tavasszal a május és a június hónapok azok, amelyek idején kedvezőtlen talajnedvességi viszonyok is kialakulhatnak.

Egy korábbi munkában *(Varga-Haszonits et al., 2008)* elvégeztük a növények vízigényének vizsgálatát évi viszonylatban is. Az őszi árpa tenyészidőszaka, összehasonlítva az egynyári növények nedvességi viszonyaival és az évi átlagos nedvességi viszonyokkal, az év nedves időszakának tekinthető. A július-augusztus időszak magas párolgási értékei után csökken a vízkiadás, így nő a talajnedvesség, amely márciusig növekvő tendenciát mutat, majd a hőmérséklet és a párolgás növekedésével egyre csökken. Az őszi vetésű növények vegetációs ideje az egynyáriakkal ellentétben az év nedvesebb időszakára esik.

3.1.3 Természetes időszakok

Az őszi árpa tenyészidőszakát meteorológiai szempontból három nagyobb szakaszra oszthatjuk. Az első az őszi időszak, amely a vetéstől a hőmérséklet 5 fok alá süllyedésének időpontjáig tart. A második a téli nyugalmi időszak, amely a hőmérséklet őszi 5 fok alá süllyedésének időpontjától a hőmérséklet tavaszi 5 fok fölé emelkedésének időpontjáig tart. A harmadik a tavaszi időszak, amely a hőmérséklet 5 fok fölé emelkedésének tavaszi időpontjától az érésig tart.

Az őszi időszak. Az **3. táblázat** adatai alapján láttuk, hogy hazánk területén - hosszú fenológiai adatsorok alapján - az őszi árpát általában szeptember utolsó dekádjában vetik és október második felében kel ki. A bokrosodás az évek többségében már november hónapban bekövetkezik, egyes esetekben azonban áttolódik a következő év tavaszára. Az őszi árpa bázishőmérséklete 3-5 fok, ezért ha az 5 fokos

értéket vesszük figyelembe, akkor a napi középhőmérsékletek november közepe táján a bázishőmérséklet alá süllyednek. A vetés időpontja és a napi középhőmérsékletek 5 fok alá süllyedésének időpontja között – amint a táblázatból látható – átlagosan 40-50 nap áll a növény rendelkezésére, hogy megerősödve menjen át a nyugalmi időszakba.

Az első szakasz tehát a vetéstől a napi középhőmérsékleteknek a bázishőmérséklet (5 fok) alá süllyedésének időszakáig ($D_{Ő5}$) tart. Ezt az őszi időtartamot a napi középhőmérsékletek fokozatos csökkenése jellemzi. Ekkor a növény szempontjából az az elsőrendű fontosságú, hogy a nyugalmi időszak beállta előtt kellő mértékben megerősödjön, hogy a téli alacsony hőmérsékleteket fejlettebb állapotban jobban el tudja viselni.

Az áttelelési időszak. Akkor, amikor a napi középhőmérsékletek 5 fok alatt vannak, a növény nyugalmi állapotban van. Ez átlagosan november közepétől március közepéig tart (**12. táblázat**), azaz hozzávetőlegesen négy hónap, mintegy 120 nap, amelynek folyamán a növény számára az a fontos, hogy képes legyen elviselni az ekkor előforduló alacsonyabb hőmérsékleteket. Az alacsony hőmérsékletek és azok előfordulási gyakorisága nemcsak magukra a növényekre, hanem azok kórokozóinak és kártevőinek az áttelelésére is hatással vannak.

A tavaszi időszak. Ez a napi középhőmérsékletek tavaszi 5 fok fölé emelkedésének időpontjától (D_{T5}) a növény éréséig tart. Tavasszal a napi középhőmérsékletek március közepe táján emelkednek 5 fölé és a növény viaszérése pedig június közepe körül következik be (**12. táblázat**).

Ennek folyamán a növény növekedése és fejlődése során a virágzás időpontjára eléri a fajtára általánosan jellemző fejlettségi szintet, majd a virágzás után létrehozza és megérleli a szemtermést.

10.13147/NYME.2013.018

10. táblázat A relatív talajnedvesség havi átlagai az őszi árpa tenyészidőszaka folyamán (1951-2000)

Megfigyelőhely	Hónapok									
	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
Békéscsaba	0,45	0,47	0,57	0,72	0,86	0,91	0,90	0,86	0,78	0,67
Budapest	0,40	0,45	0,58	0,74	0,85	0,90	0,86	0,78	0,66	0,55
Debrecen	0,46	0,48	0,59	0,76	0,89	0,94	0,92	0,85	0,75	0,64
Győr	0,47	0,51	0,62	0,76	0,86	0,90	0,89	0,84	0,74	0,62
Iregszemcse	0,53	0,57	0,68	0,82	0,91	0,94	0,92	0,87	0,80	0,69
Kecskemét	0,42	0,46	0,60	0,78	0,90	0,94	0,90	0,81	0,70	0,57
Kompolt	0,45	0,48	0,59	0,74	0,85	0,90	0,89	0,82	0,74	0,63
Miskolc	0,52	0,54	0,63	0,75	0,84	0,89	0,88	0,83	0,77	0,68
Mosonmagyaróvár	0,53	0,57	0,68	0,82	0,91	0,94	0,94	0,90	0,81	0,68
Nyíregyháza	0,49	0,51	0,61	0,75	0,87	0,92	0,90	0,83	0,71	0,61
Pécs	0,49	0,51	0,62	0,76	0,87	0,90	0,88	0,84	0,78	0,67
Szeged	0,42	0,44	0,54	0,69	0,82	0,87	0,86	0,80	0,71	0,59
Szolnok	0,44	0,46	0,56	0,71	0,82	0,88	0,87	0,80	0,73	0,62
Szombathely	0,60	0,65	0,76	0,87	0,92	0,94	0,93	0,89	0,82	0,76
Zalaegerszeg	0,65	0,70	0,81	0,93	0,97	0,97	0,94	0,90	0,84	0,76
Országos átlag	0,49	0,52	0,63	0,77	0,88	0,92	0,90	0,84	0,76	0,65

10.13147/NYME.2013.018

11. táblázat A relatív talajnedvesség havi minimumai az őszi árpa tenyészidőszaka folyamán (1951-2000)

Megfigyelőhely	Hónapok									
	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
Békéscsaba	0,25	0,21	0,24	0,33	0,50	0,65	0,59	0,48	0,48	0,36
Budapest	0,20	0,15	0,30	0,42	0,48	0,52	0,42	0,47	0,41	0,29
Debrecen	0,23	0,21	0,31	0,41	0,58	0,70	0,59	0,42	0,50	0,38
Győr	0,29	0,29	0,37	0,47	0,45	0,48	0,48	0,51	0,46	0,35
Iregszemcse	0,28	0,28	0,35	0,38	0,49	0,58	0,49	0,49	0,45	0,39
Kecskemét	0,19	0,19	0,25	0,32	0,58	0,65	0,50	0,48	0,38	0,29
Kompolt	0,22	0,18	0,33	0,42	0,50	0,56	0,56	0,48	0,40	0,32
Miskolc	0,25	0,21	0,31	0,36	0,54	0,60	0,59	0,45	0,48	0,35
Móvár	0,32	0,38	0,44	0,56	0,55	0,58	0,61	0,64	0,56	0,36
Nyíregyháza	0,25	0,21	0,35	0,42	0,54	0,62	0,54	0,38	0,51	0,34
Pécs	0,24	0,21	0,32	0,32	0,41	0,52	0,45	0,51	0,46	0,43
Szeged	0,21	0,17	0,22	0,29	0,41	0,54	0,49	0,49	0,38	0,30
Szolnok	0,24	0,19	0,27	0,34	0,46	0,54	0,47	0,45	0,45	0,32
Szombathely	0,36	0,36	0,48	0,58	0,58	0,60	0,48	0,59	0,56	0,41
Zalaegerszeg	0,37	0,38	0,50	0,62	0,73	0,80	0,66	0,67	0,51	0,40
Országos átlag	0,26	0,24	0,34	0,42	0,52	0,60	0,53	0,50	0,47	0,35

10.13147/NYME.2013.018

12. táblázat

Az őszi árpa fenológiai fázisainak és a természetes időszakok kezdeteinek statisztikája (1984-1997)

Állomás	Az időszak bekövetkezési időpontjának sorszáma								
	Vetés - $D_{Ő5}$ időszak hossza			$D_{Ő5}$ - D_{T5} közötti időszak hossza			D_{T5} - Érés időszak hossza		
	min	átl ag	max	min	átlag	max	min	átlag	max
Miskolc	23	37	51	109	132	145	59	83	102
Kaposvár	21	40	55	110	130	148	70	98	154
Kecskemét	22	45	73	98	124	138	70	82	95
Mosonmagyaróvár	15	43	60	99	125	138	76	86	102
Nyíregyháza	25	36	49	106	129	143	72	92	111
Békéscsaba	33	44	60	94	121	136	77	90	104
Szolnok	36	47	60	96	122	135	72	84	110

10.13147/NYME.2013.018

3.2 AZ ÉGHAJLATI VÁLTOZÉKONYSÁG HATÁSA AZ ŐSZI ÁRPA FENOFÁZISAIRA

3.2.1 a meteorológiai viszonyok és a növényfejlődés

A növény élete során az egyik fejlődési állapotból a másik állapotba megy át, amíg el nem jut az érésig. Az egyes állapotokat az egyes fenológiai jelenségek (kelés, virágzás, érés stb.) bekövetkezése jelenti, amelyek többnyire nem mérhető, hanem szemmel észlelhető jelenségek. Ettől megkülönböztetjük a növény növekedését, amely a növényi szervek nagyobbodását és a fotoszintézis során termelt szárazanyag (biomassza) felhalmozódását jelenti.

Noha a növény fejlődése és növekedése, ugyanazon környezeti-meteorológiai viszonyok mellett párhuzamosan megy végbe, ugyanazok a környezeti-meteorológiai tényezők másképpen hatnak a növényfejlődésre, mint a növény növekedésére. A hőmérséklet emelkedésével ugyanis a növény fejlődése folyamatosan gyorsul, míg a növekedése (pl. a biomassza gyarapodás) csak egy bizonyos hőmérsékletig gyorsul, további hőmérsékletemelkedés esetén pedig már csökken. Ezért fontos a két folyamat megkülönböztetése, valamint a köztük és a meteorológiai tényezők közötti kapcsolatnak külön-külön történő elemzése.

A meteorológiai viszonyok és a növényfejlődés közötti kapcsolat tanulmányozása mind a fejlődés ütemének, mind pedig a termés mennyiségének alakulása szempontjából fontos és különböző modellekkel tanulmányozható feladat (*Mavi és Tupper, 2004).* A növény termesztése szempontjából az egyik legfontosabb tényező annak az időszaknak a hossza, amelynek során a növény előállítja azt a szerves anyag mennyiséget (gazdasági termést), amely miatt az adott növényt termesztjük (*Charles-Edwards et al,. 1986).*

Hazánkban több évtizedes hosszúságú fenológiai adatsorok állnak rendelkezésre, ezért lehetővé vált, hogy feladatul tűzzük ki az éghajlat növényfejlődésre gyakorolt hatásának megvizsgálását az őszi árpa adatokon is. Ezért meg szerettük volna ismerni az alábbiakat:

- hogyan változik az egyes fenofázisok és a tenyészidőszak hossza az egymás utáni években és milyen kapcsolat van az egyes fenofázisok hossza és a tenyészidőszak hossza között,
- milyen befolyással vannak a meteorológiai elemek a fenofázisok hosszára és
- melyik az a meteorológiai elem, amelyik a legerősebb hatást gyakorolja a növény fejlődésére.

Az éghajlati változékonyság és a fenológiai fázisok hossza

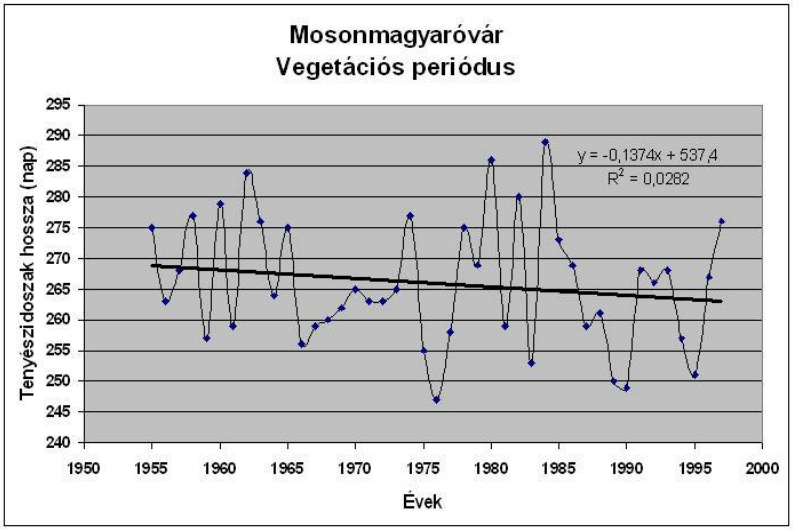
Annak a tisztázása, hogy az egyes fenológiai fázisok és a vegetációs periódus egésze között milyen kapcsolat van, azért is fontos, mert éghajlati szempontból ismernünk kell, hogy a fenofázisok hosszának változása hogyan befolyásolja a tenyészidőszak hosszának a változását *(Mearns 2000)*. Meg kell tehát határoznunk, hogy mely fenofázisok vannak a legnagyobb befolyással a vegetációs periódus hosszára, hiszen az éghajlat hatása is ezen keresztül érvényesülhet leginkább.

A fenofázisok és a vegetációs periódus hosszának évenkénti változásai. Az egyes fenológiai megfigyelőhelyeken a fenofázisok hossza különböző módon változott. A vegetációs periódus hosszával való kapcsolatuk korrelációs koefficienseit a **13. táblázat** tartalmazza.

Az őszi árpa egyes fenofázisainak a hossza és a vegetációs periódusának hossza közötti kapcsolat meglehetősen változatos. Általában a kelés- szárbaindulás, valamint a kalászolás-érés szakasz és a tenyészidőszak közötti lineáris korrelációs koefficiensek a legjelentősebbek. A vetés-kelés szakaszban gyenge a kapcsolat, a szárbaindulás-kalászolás szakaszban pedig csak egy helyen szignifikáns.

A vegetációs periódus hosszának évenkénti változásai is különböző tendenciát mutatnak az öt fenológiai megfigyelőhelyen. Két helyen a vegetációs periódus hossza csökkenő tendenciát mutat (Mosonmagyaróvár, Székkutas), két helyen (Debrecen, Kompolt) növekvő tendenciát, egy helyen (Iregszemcse) pedig gyakorlatilag nem mutat észrevehető változást. Ahol változás tapasztalható, ott is kismértékű a változás, akár csökkenő, akár növekvő tendenciájú. A változás nagysága általában tíz évenként 1-2 nap. Ez látható a

tenyészidőszak hosszának csökkenését mutató, mosonmagyaróvári (1955-1997) adatokra épülő ábrán is (**11. ábra**). Ahol a tenyészidőszak rövidül, ott a hőmérséklet-változással összhangban van a tenyészidőszak hosszának változási tendenciája, mivel a magasabb hőmérsékletek gyorsítják a növények fejlődését.



11. ábra. Az őszi árpa vegetációs periódus hosszának évenkénti változásai (1955-1997)

13. táblázat Az őszi árpa egyes fenofázisainak a hossza és a vegetációs periódusának hossza közötti összefüggések lineáris korrelációs koefficiensei (1984-1997)

Fenológiai állomás	Vetés-Kelés	Kelés-Szárba-indulás	Szárba-indulás-Kalászolás	Kalászolás-Teljes érés
Debrecen	0,14	0,33**	0,09	0,72*****
Iregszemcse	0,21	0,18	0,34**	0,59*****
Kompolt	0,29*	0,31*	0,20	0,28
Moson-magyaróvár	0,26*	0,62*****	0,05	0,28*
Székkutas	0,50****	0,68*****	0,03	0,36**

A **13. és 14. táblázat**ban használt jelölések:

* 10%-os szinten szignifikáns	P <0,10
** 5%-os szinten szignifikáns	P <0,05
*** 2%-os szinten szignifikáns	P <0,02
**** 1%-os szinten szignifikáns	P <0,01
***** 0, 1%-os szinten szignifikáns	P <0,001

A termikus meteorológiai elemek és a fenológiai fázisok hossza

A növényfiziológiai ismeretek alapján kiválasztott termikus elemek esetében mindenekelőtt azt kell eldönteni, hogy az egyes elemek fázistartamok alatti középértékeit vagy pedig összegeit vesszük-e figyelembe. A középértékekkel történő vizsgálatnak megvan az az előnye, hogy azok lényegében függetlenek a fenofázisok hosszának a változásaitól. Hosszabb, vagy rövidebb fenofázisok alatt egyaránt előfordulhatnak a termikus elemek magasabb és alacsonyabb középértékei. Az összegek esetében azonban már az várható, hogy hosszabb fázistartamok nagyobb összegekkel társulnak, a rövidebb fázistartamok pedig kisebb összegekkel. Ilyen esetben felmerül tehát az álkorreláció lehetősége.

A középértékek vizsgálatánál a legszorosabb összefüggéseket a radiotermikus index mutatja mind az öt megfigyelőhelyen. Az egyes fenofázisok hosszával való kapcsolat elemzésekor azt tapasztaltuk, hogy grafikus ábrázolás esetén a kapcsolatot jellemző ponthalmazhoz legszorosabban hatványfüggvény illeszthető. A korrelációs koefficiensek – amint a **14. táblázat**ban látható – a tavaszi fenofázisokra vonatkozóan 0,90 felettiek, a vetés-kelés esetében is Kompolt kivételével 0,80 felettiek, csupán a kelés-szárbaindulás időszakában maradnak 0,50 alatt. Azt mondhatjuk tehát, hogy Magyarországon a radiotermikus index (az egységnyi sugárzásmennyiségre eső hőmérsékletváltozás) a kelés-szárbaindulási szakasz, vagyis megközelítőleg az őszi árpa áttelelési időszakának a kivételével az összes többi időszakban közel determinisztikus módon meghatározza a fenofázisok hosszát.

A **14. táblázatban** látható elemek a radiotermikus index kivételével mind összegértékek. A növényfejlődés ütemét a fenológiai

megfigyelések segítségével nem lehet mérni, de a számított fejlődési ütemértékre célszerű volna találni egy olyan összefüggést valamelyik környezeti elemmel, amelyre vonatkozó lineáris korrelációs koefficiens 1-hez közeli érték. Ebben az esetben ugyanis a növényfejlődés folyamata kellő pontossággal nyomon követhető lenne. Ha pedig volna egy olyan összegérték, amelynek elérésekor a fázis bekövetkezne, akkor megoldható lenne meteorológiai adatokból a fenofázis befejezési időpontjának, illetve az új fenofázis kezdeti időpontjának kielégítő pontosságú meghatározása.

14. táblázat A termikus meteorológiai elemek hatása a fázistartamra, korrelációs koefficiensek hatványfüggvény esetén (1984-1997)

Állomás	Vetés-Kelés	Kelés-Szárbain-dulás	Szárbain-dulás-Kalászolás	Kalászolás-Teljes érés	Vegetációs periódus
Hőmérsékleti összeg					
Debrecen	0,53*****	0,20	0,83*****	0,94*****	0,27*
Iregszemcse	0,83*****	0,52****	0,94*****	0,83*****	0,21
Kompolt	0,72*****	0,31**	0,90*****	0,87*****	0,46****
Moson-magyaróvár	0,54*****	0,26*	0,87*****	0,82*****	0,62*****
Székkutas	0,42***	0,42***	0,89*****	0,85*****	0,43***
Fotoszintetikusan aktív sugárzás összeg					
Debrecen	0,89*****	0,79*****	0,89*****	0,92*****	0,72*****
Iregszemcse	0,77*****	0,88*****	0,98*****	0,90*****	0,77*****
Kompolt	0,86*****	0,81*****	0,92*****	0,89*****	0,73*****
Moson-magyaróvár	0,74*****	0,91*****	0,95*****	0,87*****	0,82*****
Székkutas	0,53****	0,88*****	0,89*****	0,88*****	0,812*****

14. táblázat folytatása A termikus meteorológiai elemek hatása a fázistartamra, korrelációs koefficiensek hatványfüggvény esetén (1984-1997)

Állomás	Vetés-Kelés	Kelés-Szárbain-dulás	Szárbain-dulás-Kalászolás	Kalászolás-Teljes érés	Vegetációs periódus
Radiotermikus index					
Debrecen	0,92*****	0,32**	0,97*****	0,97*****	0,42****
Iregszemcse	0,89*****	0,27	0,98*****	0,94*****	0,44***
Kompolt	0,68*****	0,37***	0,99*****	0,95*****	0,24
Moson-magyaróvár	0,90*****	0,44****	0,98*****	0,91*****	0,15
Székkutas	0,85*****	0,32*	0,98*****	0,90*****	0,06
Napfénytartam összeg					
Debrecen	0,61*****	0,49****	0,57*****	0,26	0,07
Iregszemcse	0,54****	0,68*****	0,90*****	0,70*****	0,24
Kompolt	0,75*****	0,61*****	0,71*****	0,66*****	0,40****
Moson-magyaróvár	0,49*****	0,72*****	0,84*****	0,62*****	0,33**
Székkutas	0,24	0,65*****	0,69*****	0,65*****	0,47****

Ez utóbbi esetben a következő összefüggés lehetőséget ad egy növényfejlődési index (NFI) számítására:

$$NFI = \frac{M_k}{PSM} \qquad (30)$$

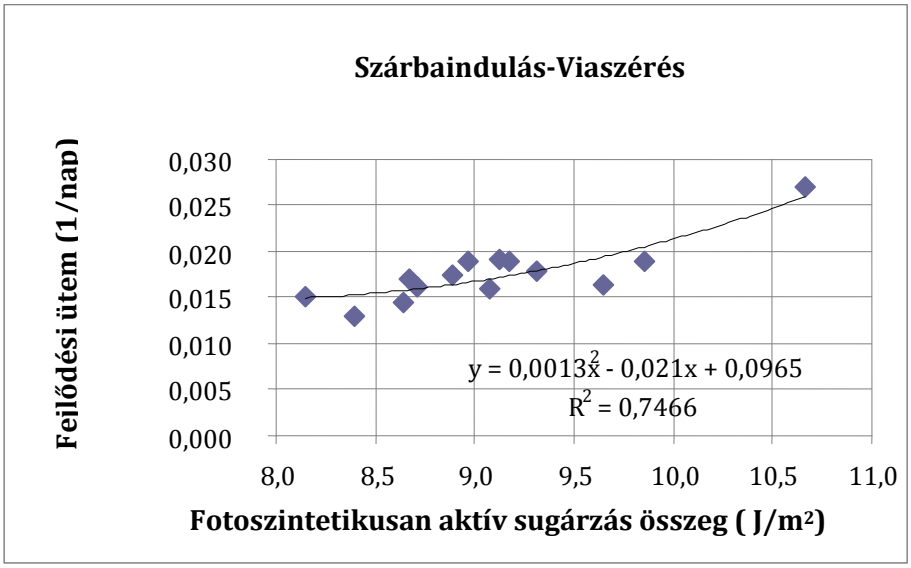
ahol M_k egy adott meteorológiai elem napi középértéke, a PSM pedig ugyanezen elem adott időszakra vonatkozó összegezett értékének a potenciálja, amely a fenofázis eléréséhez szükséges, valamilyen módon becsült összegérték. Ezt a becsült potenciális összegértéket vagy tapasztalati úton lehet meghatározni, vagy pedig az adott elem adott időszakra vonatkozó évi összegeinek sokévi átlagaként szokták számítani

(Williams et al., 1989). Minél kisebb változékonyságot mutat a PSM érték, annál jobb eredményt kapunk az NFI indexszel.

A **14. táblázatban** láthatjuk, hogy a fotoszintetikusan aktív sugárzás összeg adja átlagosan a legnagyobb korrelációs koefficiens értékeket. A korrelációs koefficiensek általában a hőmérsékleti összeg és a radiotermikus index esetében is szignifikánsak, azonban a kelés-szárbaindulás szakaszban a legalacsonyabbak. Ez azt jelenti, hogy mind a három értéket érdemes megvizsgálni a növényfejlődési index meghatározása céljából.

A **12. ábrán** a fotoszintetikusan aktív sugárzás összeg hatását láthatjuk a szárbaindulás-viaszérés szakasz fejlődési ütemére Mosonmagyaróváron.

12. ábra. A fotoszintetikusan aktív sugárzás összeg hatása az őszi árpa fejlődési ütemére (1984-1997)



A termikus meteorológiai elemek és a növényfejlődési index

A növény életciklusa folyamán nemcsak szerveinek mérete növekszik, új szervek és funkciók alakulnak ki és tűnnek el, levelek és virágok képződnek, a növények virágoznak, gyümölcsök képződnek, érnek meg, a növény elpusztulhat, vagy nyugalmi állapotba kerülhet. Más szavakkal: a növények saját jellegzetes életciklusukon mennek keresztül. Ezek a minőségi változások a növényben akkor is előfordulnak, ha súlygyarapodás egyáltalán nem történik. A fenofázis tartamából az átlagos fejlődési ütemet úgy számíthatjuk, hogy az n napból álló fázistartam egy napra eső hányadát (1/n) vesszük, ugyanis ha ezt n napon át összegezzük, s az összeg eléri az 1 értéket, akkor bekövetkezik az újabb fenofázis.

Számított és megfigyelt bekövetkezési időpontok. A növényfejlődési indexszel a **30. egyenlet** alapján történő számításokat nemcsak a hőmérsékleti összeg és a fotoszintetikusan aktív sugárzás, hanem a radiotermikus index segítségével is elvégeztük. A meteorológiai elemek összegei alapján számított fenofázis bekövetkezési időpontok és a ténylegesen megfigyelt fenofázis bekövetkezési időpontok közötti kapcsolat szorosságát bemutató korrelációs koefficienseket a **15. táblázat** tartalmazza.

Magyarországon az őszi árpa egyes fenológiai fázisaira vonatkozóan a hőmérsékleti összeggel kapjuk a legjobb eredményeket a számított fenofázis bekövetkezési időpontok és a ténylegesen megfigyelt fenofázis bekövetkezési időpontok közötti kapcsolat korrelációs koefficiens értékeire. Ha azonban a számítást a vegetációs periódus egészére végezzük el, akkor a fotoszintetikusan aktív sugárzás alapján végzett számítás jobb eredményt ad. Érdekes, hogy a több fázistartammal kapcsolatban kimagaslóan szoros eredményt mutató radiotermikus indexszel kaptuk a leggyengébb eredményeket. A nyugalmi időszakot is magába foglaló kelés-szárbaindulás szakaszra vonatkozóan nagyon alacsony korrelációs koefficiens értékeket kaptunk, még a hőmérsékleti összegre alapozott számítással is, mivel ebben az időszakban a hőmérséklet mellett a nappalhosszúság és a vernalizáció is jelentős hatást gyakorol a növény fejlődésére.

15. táblázat A meteorológiai elemek összegei alapján számított fenofázis bekövetkezési időpontok és a ténylegesen megfigyelt fenofázis bekövetkezési időpontok közötti lineáris kapcsolat korrelációs hányadosai (1984-1997)

Állomás	Vetés-Kelés	Kelés-Szárbain-dulás	Szárbaindu-lás-Kalászolás	Kalászo-lás - Érés	Vegetá-ciós perió-dus
Hőmérsékleti összeg alapján					
Debrecen	**0,56*****	**0,69*****	**0,63*****	**0,68*****	**0,43******
Iregszemcse	**0,84*****	0,36*	**0,69*****	**0,90*****	**0,49******
Kompolt	**0,94*****	**0,53*****	**0,77*****	**0,89*****	**0,51*******
Moson-magyaróvár	**0,79*****	**0,47******	**0,67*****	**0,83*****	**0,42******
Székkutas	**0,91*****	0,41**	**0,69*****	**0,76*****	0,35*
Fotoszintetikusan aktív sugárzás alapján					
Debrecen	**0,60*****	0,25	**0,53*****	**0,55*****	**0,50******
Iregszemcse	**0,81*****	0,35*	**0,59*****	**0,75*****	**0,55******
Kompolt	**0,64*****	0,10	**0,72*****	**0,77*****	**0,43******
Moson-magyaróvár	**0,75*****	0,23	**0,58*****	**0,78*****	**0,50*******
Székkutas	**0,89*****	0,05	**0,58*****	**0,72*****	0,279
Radiotermikus index alapján					
Debrecen	**0,78*****	0,13	**0,62*****	**0,40******	0,12
Iregszemcse	**0,80*****	0,12	**0,59*****	**0,82*****	0,15
Kompolt	**0,96*****	0,25	**0,66*****	**0,78*****	0,26*
Moson-magyaróvár	**0,59*****	0,25	**0,56*****	**0,77*****	0,11
Székkutas	**0,85*****	0,31*	**0,64*****	**0,68*****	0,08

* 10%-os szinten szignifikáns	P <0,10
** 5%-os szinten szignifikáns	P <0,05
*** 2%-os szinten szignifikáns	P <0,02
**** 1%-os szinten szignifikáns	P <0,01
***** 0, 1%-os szinten szignifikáns	P <0,001

A számított és a tényleges időpontok közötti eltérések elemzése. A számított bekövetkezési időpontok és tényleges bekövetkezési időpontok is az év napjainak sorszámával vannak megadva. Így a köztük lévő különbséget is napokban határoztuk meg Az eltérések átlagait a **16. táblázat** tartalmazza egytizedes pontossággal. A legkisebb átlagos eltérések a fotoszintetikusan aktív sugárzás és a hőmérsékleti összeg alapján jelentkeztek.

Különösen kis értékek szerepelnek a tavaszi időszakokra (0 és 3,8 nap között), valamint az egész tenyészidőszakra vonatkozóan (0 és 3,8 nap között). A vetés-kelés szakaszban és az áttelelést is magába foglaló időszakban nagyobb átlagok adódnak (0 és 62,4 között). A radiotermikus index segítségével számított növényfejlődési indexszel szintén jó eredményeket kaptunk (0 és 3,8 között), azonban a kelés-szárbaindulás szakaszban ez a számítási módszer nem alkalmazható (18,3 és 62,4 nap között). A számított és tényleges értékek közötti eltérések átlagai jó tájékoztatást adnak arról, hogy melyik módszerrel kaphatunk kielégítő eredményeket. Azonban az egyes években az átlagos eltérést lényegesen meghaladó anomáliák is előfordulhatnak, öt napnál nagyobb eltérések azonban csak kis gyakorisággal fordulnak elő. Az esetek zömében az eltérések az átlaghoz közeli intervallumokban csoportosulnak.

16. táblázat A termikus elemek összegei alapján számított és a tényleges fenofázis bekövetkezése közötti eltérés középértékei napokban (nap)

Állomás	Vetés-Kelés	Kelés-Szárba-indulás	Szárba-indulás-Kalászolás	Kalászolás-Érés	Vegetációs periódus
Hőmérsékleti összeg					
Debrecen	10,9	3,8	1,5	0,3	0,4
Iregszemcse	-0,4	-2,1	1,9	-0,1	-0,1
Kompolt	-3,0	1,7	1,2	0,7	0,3
Mosonmagyaróvár	5,1	-2,6	1,7	0,7	0,7
Székkutas	3,6	-1,7	1,2	0,3	0,4
Fotoszintetikusan aktív sugárzás					
Debrecen	3,4	1,0	1,2	0,5	0,5
Iregszemcse	0,6	0,1	1,2	-0,3	0,0
Kompolt	-7,7	3,0	0,9	0,8	0,4
Mosonmagyaróvár	0,8	-0,4	1,1	0,9	0,4
Székkutas	1,9	-0,1	0,9	0,6	0,3
Radiotermikus index					
Debrecen	4,3	-62,4	1,1	0,1	-2,7
Iregszemcse	0,0	-19,4	1,0	0,0	-2,0
Kompolt	-4,0	-45,8	0,7	0,8	-3,8
Mosonmagyaróvár	2,0	-35,5	1,8	0,7	-2,5
Székkutas	1,4	-18,3	0,5	-0,1	-1,6

3.2.2 Az érés időpontjának előrejelzése

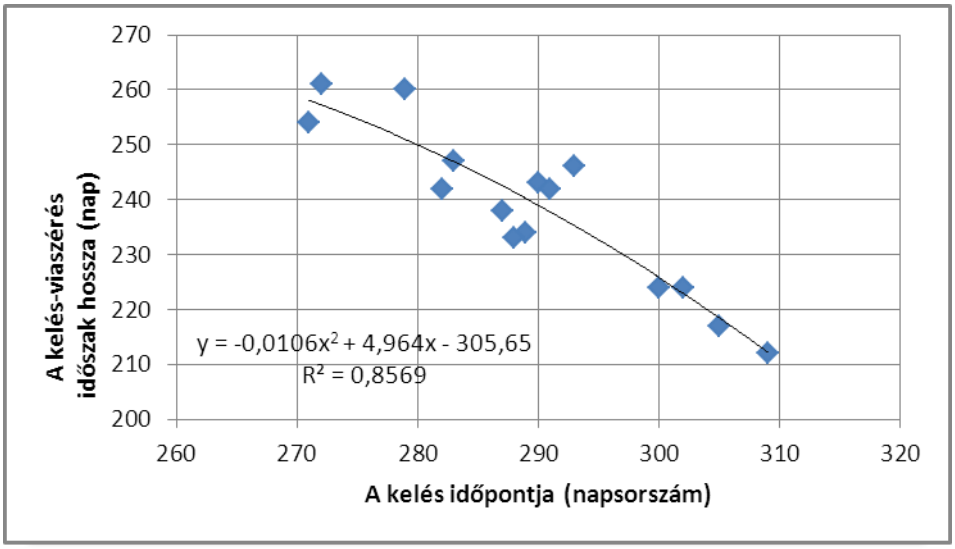
Az érés időpontjának meghatározása kétféle közelítésben is megvalósítható. Az egyik esetben a meghatározáshoz a fenológiai fázisok bekövetkezési időpontja és a fázistartam, a másik esetben valamely meteorológiai elem, vagy meteorológiai elemek együttese szolgálhat alapul.

Az érés időpontjának előrejelzése fenológiai adatok alapján. A fenológiai jelenségek közül a kelés az első olyan fenofázis, amelyet célszerű lehet kapcsolatba hozni az érési időponttal. Egy adott időpontban történő vetés és az azt követő időjárás hatására történő kelés elősegítheti, vagy hátráltathatja az őszi árpa megerősödését a tél beköszönte előtt. Ha a növény kellően megerősödve kerül a nyugalmi időszakba, akkor könnyebben átvészeli a negatív hőmérsékleteket. Ez valószínűleg hatással van arra is, hogy a növény később, vagy korábban érik, legalábbis ezt mutatja a kelés időpontja és kelés-viaszérés időszak hossza közötti viszonylag szoros összefüggés.

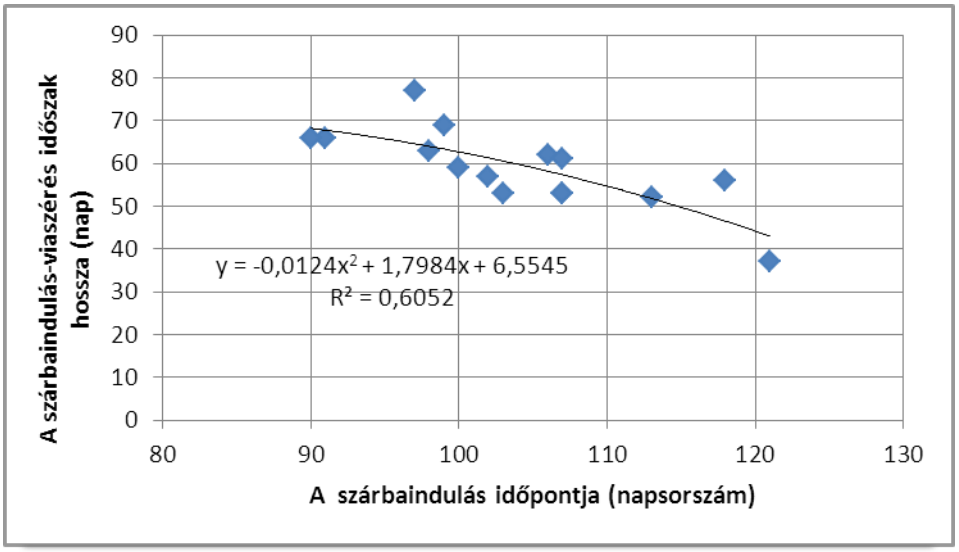
A kelési időpont és a kelés-viaszérés szakasz hossza közötti összefüggések korrelációs hányadosait a **17. táblázat** tartalmazza, mégpedig két időszakra bontva, amint azt a táblázat 2. oszlopában láthatjuk. A két részre osztás nagyjából megfelel az évi középhőmérsékletek alakulásának. Az 1967 és 1981 közötti időszakban ugyanis az évi középhőmérsékletek csökkenő, majd ezután emelkedő tendenciát mutattak. (*Varga-Haszonits et al. 2006a).*

17. táblázat A kelési időpont és a kelés-viaszérés szakasz hossza, valamint a szárbaindulási időpont és a szárbaindulás-viaszérés szakasz hossza közötti lineáris összefüggések korrelációs hányadosait

Megfigyelőhely	Időszak	A másodfokú összefüggés korrelációs hányadosai	
		Kelés-Viaszérés	Szárbaindulás-Viaszérés
Eszterág-Villány-Cserkút	1967-81	0,86	0,85
Eszterág-Villány-Cserkút	1984-94	0,79	0,72
Gyulatanya-Nyíregyháza	1967-81	0,80	0,67
Gyulatanya-Nyíregyháza	1984-97	0,85	0,68
Karcag-Debrecen	1967-81	0,93	0,58
Karcag-Debrecen	1984-94	0,59	0,86
Kompolt-Füzesaabony	1967-81	0,71	0,61
Kompolt-Füzesabony	1984-97	0,89	0,65
Mosonmagyaróvár	1967-81	0,56	0,83
Mosonmagyaróvár	1984-97	0,93	0,78
Tordas-Agárd	1967-81	0,87	0,70
Tordas-Agárd	1984-94	0,75	0,80



13. ábra. Összefüggés a kelés időpontja és a kelés-viaszérés hossza között (Mosonmagyaróvár, 1984-1997)



14. ábra. Összefüggés a szárbaindulás időpontja és a szárbaindulás-viaszérés időszak hossza között (Mosonmagyaróvár, 1984-1997)

A korrelációs értékek mindkét időszakban nagyok. A korábbi kelési időpontokhoz hosszabb kelés-viaszérés időszakok tartoznak, és megfordítva; a későbbi kelési időpontokhoz rövidebb időszakok (**13. ábra**). Hasonló mondható el a szárbaindulás időpontjában végzett összefüggésekről is (**14. ábra)**. A nagy korrelációs értékek ellenére ezek az összefüggések előrejelzés céljára használva inkább csak jó közelítő értékűnek tekinthetők.

A kelés időpontja alapján számított értékek és a megfigyelt értékek közötti eltéréseket a **18. táblázatban** láthatjuk. A két részre bontott adatsorban az 1980 utáni időszakra adódtak jobb eredmények. Ez utóbbi időszakban a kelés alapján becsült érési időpont előrejelzésének hibája 70% körüli valószínűséggel ± 6-8 napon belül van. Ami - tekintve, hogy több mint 7 hónapos (200 napot meghaladó) előrejelzésről van szó - jó intervallumbecslésnek tekinthető.

Megvizsgáltuk annak a lehetőségét is, hogy az előrejelzést a szárbaindulás időpontjában végezzük el a szárbaindulás időpontja és a szárbaindulás-viaszérés időszak közötti összefüggés alapján. A szárbaindulás időpontjában végzett becsléssel sem kaptunk jobb eredményt (**19. táblázat)**. A közvetlen fenológiai adatokból történő érésidő becsléseknél tehát az előrejelzés pontosságáról megállapítható, hogy minden három becslés közül két esetben a megfigyelt érési időpont a becsült időpont körüli 6-8 napos intervallumba esik.

10.13147/NYME.2013.018

18. táblázat A megfigyelt érési időpontok, valamint a kelés és a kelés-viaszérés hossza közötti összefüggés alapján előrejelzett érési időpontok közötti különbség kumulált gyakorisága (%) (1984-1997)

Megfigyelőhely	A megfigyelt és előre jelzett időpontok közötti különbség (nap)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	≥12
	Kumulált gyakoriság (%)											
Eszterág-Villány-Cserkút	17	25	50	58	67	67	75	75	83	83	92	100
Gyulatanya-Nyíregyháza	27	33	33	47	53	53	53	67	67	73	80	100
Karcag-Debrecen	17	17	17	17	42	58	75	83	83	83	83	100
Kompolt-Füzesabony	13	13	20	40	47	53	53	53	80	80	80	100
Mosonmagyaróvár	20	20	27	33	40	60	60	80	80	93	93	100
Tordas-Agárd	0	8	25	50	75	75	75	83	83	83	92	100

10.13147/NYME.2013.018

19. táblázat A megfigyeltidőpontok, valamint a szárbaindulás és a szárbaindulás-viaszérés hossza közötti összefüggés alapján előrejelzett érési időpontok közötti különbség kumulált gyakorisága (%) (1984-1997)

Megfigyelőhely	**A megfigyelt és előre jelzett időpontok közötti különbség (nap)**											
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**≥12**
	Kumulált gyakoriság (%)											
Eszterág-Villány-Cserkút	8	8	25	42	67	83	83	92	100	-	-	-
Gyulatanya-Nyíregyháza	7	27	33	47	*53*	53	53	67	67	73	80	100
Karcag-Debrecen	8	8	17	33	*58*	67	75	83	83	83	92	100
Kompolt-Füzesabony	7	13	20	27	27	27	33	47	60	67	73	100
Mosonmagyaróvár	13	27	27	47	67	80	80	87	87	93	93	100
Tordas-Agárd	25	42	50	67	67	75	75	92	92	100	-	-

10.13147/NYME.2013.018

Az érés időpontjának előrejelzése fejlődési ütem számítással

A szárbaindulás napjától kiindulva alkalmaztuk ezt az anyag és módszer fejezetben leírt módszert a viaszérés időpontjának meghatározására.

A fenofázis hosszával szoros kapcsolatban lévő fotoszintetikusan aktív sugárzásra alapozott fejlődési ütem számítással is hasonló eredményeket kaptunk, mint a kizárólag fenológiai adatokra épülő közvetlen összefüggésekkel. A becslések kétharmadában itt is legfeljebb 6 nap eltéréssel előrejelezhető szárbainduláskor a viaszérés időpontja (**20. táblázat**).

20. táblázat A megfigyelt és a szárbaindulástól a viaszérésig számított fejlődési ütem alapján előrejelzett érési időpontok közötti különbség kumulált gyakorisága (%)

Megfigyelőhely	**A megfigyelt és előre jelzett időpontok közötti különbség (napokban)**						
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**>=7**
	Kumulált gyakoriság (%)						
Eszterág-Villány-Cserkút	18	18	64	91	91	91	100
Gyulatanya-Nyíregyháza	29	43	50	57	71	79	100
Karcag-Debrecen	9	18	36	45	73	82	100
Kompolt-Füzesabony	14	29	36	43	50	57	100
Mosonmagyaróvár	21	21	21	36	57	71	100
Tordas-Agárd	0	9	36	55	55	64	100

10.13147/NYME.2013.018

3.3 AZ ÉGHAJLATI VÁLTOZÉKONYSÁG HATÁSA AZ ŐSZI ÁRPA TERMÉSHOZAMÁRA

3.3.1 Érzékenységi vizsgálatok

Az érzékenységi vizsgálat első lépéseként az egyes fontosabb meteorológiai tényezők termésre gyakorolt hatását olyan viszonyok mellett határozzuk meg, amikor feltételezzük, hogy a többi meteorológiai tényező nincs szélsőséges helyzetben. A meteorológiai hatásvizsgálathoz a tenyészidőszakot fel kell osztani kisebb, lehetőleg olyan időszakokra, amelyek a meteorológiai hatásokat megfelelően jellemzik.

A vizsgálandó időszaknak közepes hosszúságú naptári időszakot (pentádot vagy dekádot) célszerű választani, mert a meteorológiai hatások nagyon rövid időszakok (óra, nap, pentád) alatt csak nehezen kimutatható nyomot hagynak a növények produktivitására, hosszabb időszakok (fenofázistartam, hónap, évszak) alatt pedig gyakran az egymást kompenzáló tényezők miatt nehéz kimutatni a termésre gyakorolt meteorológiai hatásokat.

Jelen munkában egy évszakos és havi adatokra épülő elemzést, valamint egy dekád és pentád adatokra épülő elemzést végeztünk el.

A havi adatokra épülő vizsgálat egyrészt egy közelítő vizsgálat, amelynél az évszakos és havi értékekre való érzékenységet vizsgáltuk, másrészt egy olyan vizsgálat, amely az őszi árpára legkedvezőtlenebbül ható téli hőmérsékletekre (az áttelelési viszonyokra) vonatkozóan elemzi a termés érzékenységét.

A dekádokra épülő vizsgálatnál a módszer gyakorlati szempontból kielégítő pontosságú és vele legkésőbb június első dekádjának végén kellő pontossággal megbecsülhető a termés.

A de Wit által meghatározott produktivitási szintek (*Penning de Vries 1962*) figyelembe vételével végeztük a vizsgálatot.

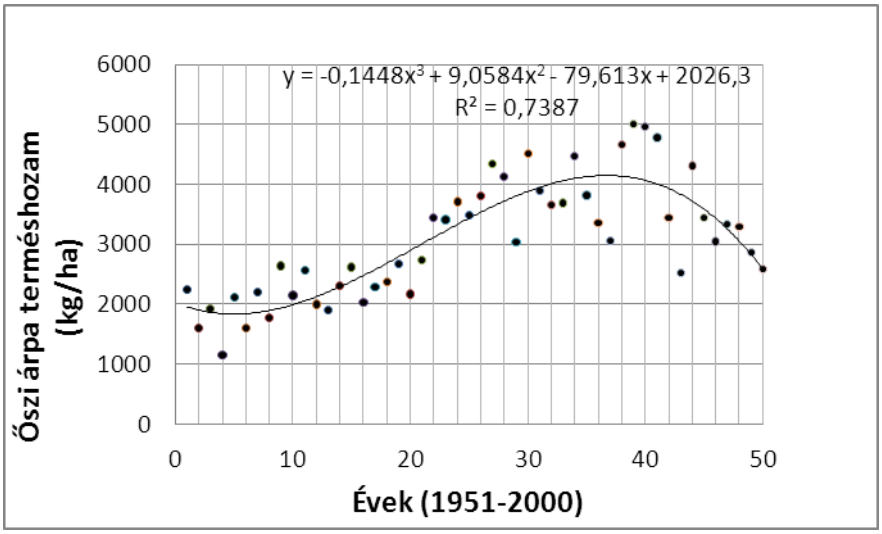
Az érzékenységi vizsgálatban már csak a termikus elemekre vonatkozó szignifikáns időszakokat kerestük, mégpedig azért a hőmérsékletre vonatkozóan, mert a hőmérséklet a legegyszerűbben mérhető és legáltalánosabban mért elem.

A meteorológiai hatásfüggvények meghatározása

A változás tendenciájának meghatározása. Az 1951-től 2000-ig terjedő időszakra vonatkozó 50 éves adatsor alapján vizsgáltuk az őszi árpa hozamának (Y(t)) alakulását (**21. táblázat**). A termésadatokra harmadfokú trendfüggvényt ($Y_o(t)$) illesztettünk (**15. ábra**). A trendfüggvénnyel jellemezhető az agrotechnikai tényezők (fajta, tápanyag, növényvédelem) hatása. A trendfüggvény értékeivel képeztük a trendarányt ($Y(t)/Y_0(t)$), amely a tényleges hozamok és a trendértékek közötti változás arányát fejezi ki.

21. táblázat Őszi árpa harmadfokú trendfüggvényeinek korrelációs koefficiensei (1951-2000)

Sorszám				
	Megye	Város	r^2	r
1.	Győr-Moson-Sopron	Győr	0,84	0,92
2.	Vas	Szombathely	0,75	0,86
3.	Zala	Zalaegerszeg	0,85	0,91
4.	Somogy	Kaposvár	0,85	0,92
5.	Veszprém	Pápa	0,79	0,89
6.	Komárom-Esztergom	Tatabánya	0,73	0,86
7.	Fejér	Martonvásár	0,82	0,90
8.	Tolna	Iregszemcse	0,85	0,92
9.	Baranya	Pécs	0,88	0,94
10.	Bács-Kiskun	Kecskemét	0,61	0,78
11.	Pest	Budapest	0,68	0,82
12.	Jász-Nagykun-Szolnok	Szolnok	0,74	0,86
13.	Csongrád	Szeged	0,78	0,88
14.	Békés	Békéscsaba	0,85	0,92
15.	Hajdú-Bihar	Debrecen	0,69	0,83
16.	Szabolcs-Szatmár-Bereg	Nyíregyháza	0,62	0,79
17.	Borsod-Abaúj-Zemplén	Miskolc	0,61	0,78
18.	Heves	Kompolt	0,61	0,78
19.	Nógrád	Balassagyarmat	0,68	0,82



15. ábra A Jász-Nagykun-Szolnok megyei 1951-2000 közötti években mért szemtermésekből számított trendfüggvény

3.3.2 A domináns hatótényezők kiválasztása

A meteorológiai elemek közül a hőmérséklet és a víz a növények általános életfeltételei közé tartoznak. Azt is tudjuk az őszi árpa vegetációs periódusának agroklimatológiai elemzéséből (*Enzsölné, 2009)*, hogy az őszi árpa tenyészidőszaka hazánkban az év hűvös és nedves időszakában zajlik le.

Az őszi árpa számára a hasznos vízkapacitás 45%-a feletti talajnedvesség kedvező állapotot jelent. Ez a feltétel szeptember hónap kivételével az egész vegetációs periódus folyamán teljesül (**10. ábra)**, ezért jó vízellátottságot feltételezve a hőmérsékleti hatásokat vizsgáltuk. A korábbiaknak megfelelően először a *Penning de Vries (1962)* által megadott 1. produkciós szint elemzését végeztük el.

A **10. ábrából** azonban egyértelműen látható volt, hogy a tenyészidőszak folyamán egyes években a talaj vízellátottsága különösen az őszi időszakban és a tél elején egészen februárig a kedvező vízellátottságot jelentő 45%-os hasznos vízkapacitási szint alatt maradhat. Február és május között a talajnedvesség minimumai is csak

ritkán és rövid időre csökkennek 45% alá. Májustól viszont ismét lehetséges egyes években kedvezőtlen talajnedvességi szint. Ezért a 2. produkciós szintnek megfelelően vizsgálni kell a kedvezőtlen talajnedvességi viszonyok melletti hatásokat is.

Először kedvező talajnedvességi szint mellett elemeztük, hogy a tenyészidőszak egy-egy részidőszaka alatt a hőmérséklet milyen hatást gyakorol a trendarány alakulására.

3.3.3 Évszakos és havi adatokra épülő elemzés

Külön-külön egyváltozós regressziós összefüggéseket alkalmazva először a hőmérséklet hatását elemeztük. A tenyészidőszak folyamán elsősorban két időszak hőmérsékleti hatásait vizsgáltuk. Az egyik a téli hónapok (december, január, február) középhőmérsékletének a hatása, amely az őszi árpa áttelelése szempontjából jelentős, a másik pedig május hónap középhőmérséklete, amely a meteorológiai hatások szempontjából legérzékenyebb időszakot, a virágzás előtti és utáni rövid időszakot foglalja magában.

A téli középhőmérsékletek hatásának vizsgálata

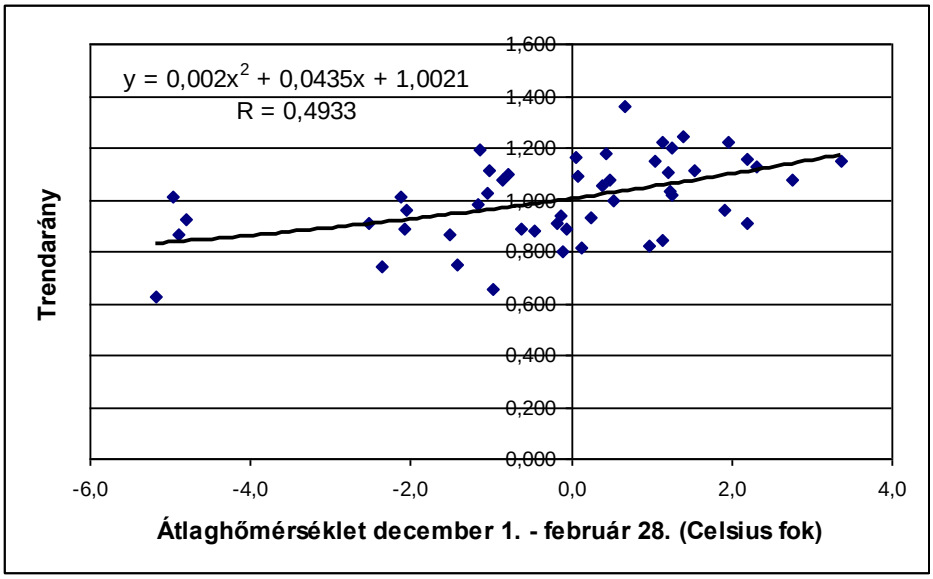
A tél középhőmérsékletének a hatását másodfokú polinommal határoztuk meg. Az összefüggés szorosságát az r = 0,4933-as korrelációs koefficiens fejezi ki. A Jász-Nagykun Szolnok megyére vonatkozó eredményt a **16. ábrán** láthatjuk. Az áttelelési időszakban a hőmérséklet jelentős hatást gyakorol az őszi árpa terméshozamának az alakulására.

A májusi középhőmérsékletek hatásának meghatározása

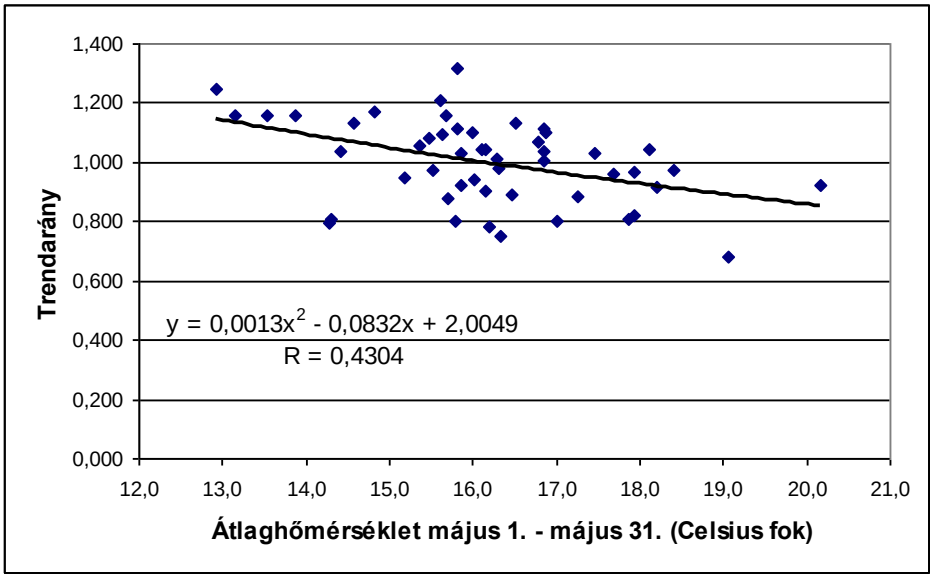
Megvizsgáltuk, hogy hogyan hat a májusi középhőmérséklet a trendarányokra. A kapott másodfokú korrelációs koefficiens értéke Jász-Nagykun-Szolnok megyében r=0,4304 (**17. ábra)**. Általában hasonlóan jó eredményeket kapunk, ha a többi megyére is elvégezzük a számításokat (**22. táblázat).** A májusi r az értékek átlaga (0,3413) a téli r értékek átlagához (0,4559) képest kisebb, valamint Zala, Tolna, Baranya és Békés megyében mindkét vizsgált r érték az átlag alatt van.

22. táblázat A középhőmérsékletek hatása a trendarányokra. Őszi árpa másodfokú korrelációs hányados értékei (1951-2000)

Az átlaghőmérséklet hatása a trendaránya			
Megye	**Város**	$r_{téli}$	$r_{májusi}$
Győr-Moson-Sopron	Győr	0,51	0,36
Vas	Szombathely	0,55	0,34
Zala	Zalaegerszeg	0,42	0,30
Tolna	Iregszemcse	0,40	0,20
Baranya	Pécs	0,38	0,13
Bács-Kiskun	Kecskemét	0,34	0,41
Pest	Budapest	0,43	0,50
Jász-Nagykun-Szolnok	Szolnok	0,49	0,43
Csongrád	Szeged	0,34	0,36
Békés	Békéscsaba	0,43	0,25
Hajdú-Bihar	Debrecen	0,60	0,35
Szabolcs-Szatmár-Bereg	Nyíregyháza	0,47	0,28
Borsod-Abaúj-Zemplén	Miskolc	0,54	0,42
Heves	Kompolt	0,48	0,48



16. ábra A téli (december, január, február) hónapok középhőmérsékletének hatása az őszi árpa termés trendarányainak alakulására Jász-Nagykun-Szolnok megyében (1951-2000)

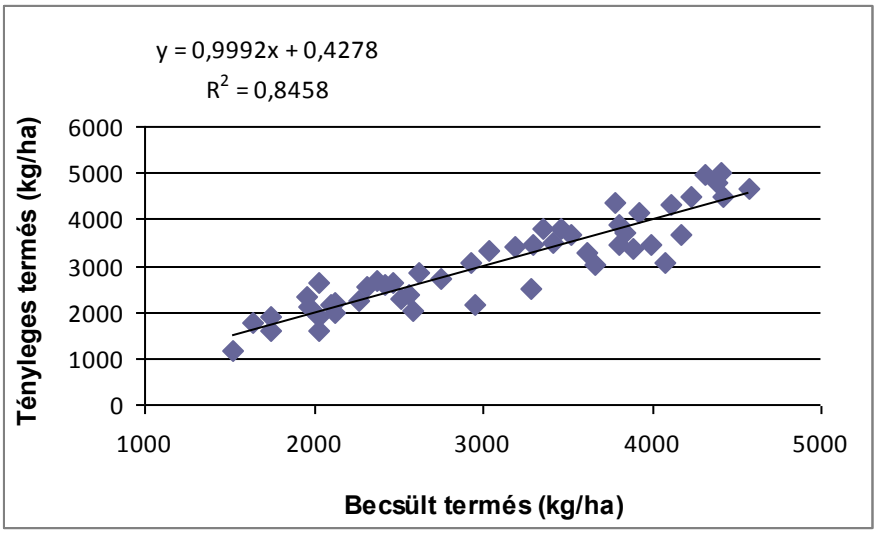


17. ábra A májusi középhőmérsékletek hatása az őszi árpa termés trendarányainak alakulására Jász-Nagykun-Szolnok megyében (1951-2000)

A téli és a májusi hőmérsékletek trendaránya gyakorolt együttes hatását kétváltozós regressziós függvénnyel vizsgáltuk. A regressziós összefüggés ebben az esetben is szoros lett, a többváltozós korrelációs koefficiens átlagos értéke elérte a 0,50-at.

Az egymásra épülő hatás elemzése reziduális közelítéssel

Felmerült a gondolat, hogy nem kapunk-e még szorosabb összefüggést, ha nem csupán a két változó hatását vizsgáljuk, hanem a reziduális közelítés segítségével az egymásra épülő hatásukat is elemezzük (fokozatos közelítéssel történő vizsgálat). A fokozatos közelítés két változóra épült, a téli hónapok középhőmérsékletére és a májusi középhőmérsékletre. Az e módszerrel kapott termésbecslés adatait összehasonlítottuk a tényleges termés adatokkal **(18 ábra)**.



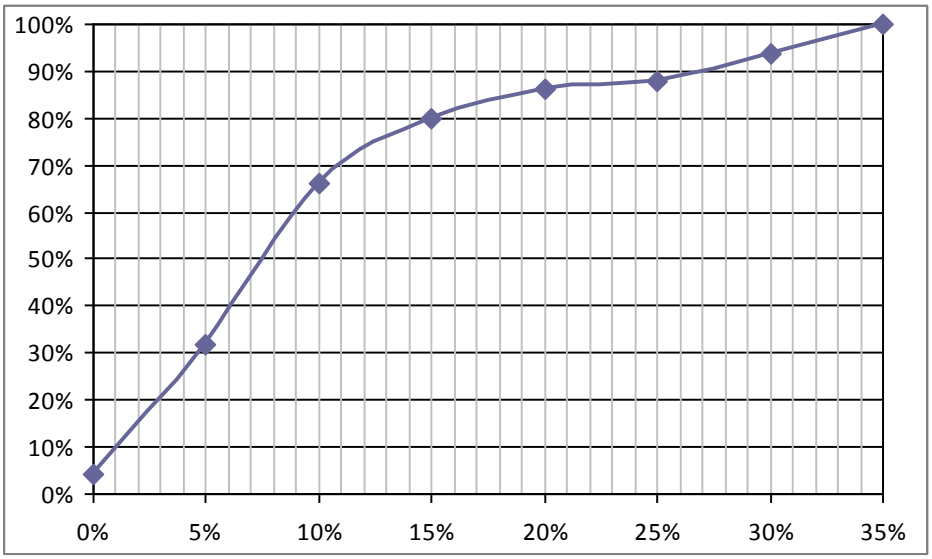
18. ábra. A becsült termés és a tényleges termés adatainak az összehasonlítása Jász-Nagykun-Szolnok megyében (1951-2000)

Az adatokból látható a szoros lineáris kapcsolat, amelynek korrelációs együtthatója r = 0,9197, vagyis a determinációs koefficiense r^2 = 0,8458. Jász-Nagykun-Szolnok megyében tehát a hőmérséklet erős befolyással van az őszi árpa terméshozamára. A módszertől becslési célra elfogadható eredmények várhatók. Különösen jelentős a hőmérséklet

hatása a téli hónapokban, valamint május hónapban a kalászolás és virágzás körüli időszakban. Ezek szerint egy esetleges hőmérsékletváltozás az őszi árpa termesztését érzékenyen érintené. Hasonló jó eredményeket kapunk a többi megyére is (**23. táblázat**).

Megvizsgáltuk azt is, hogy a becsült és a tényleges termés közötti eltérések milyen gyakorisággal fordultak elő (**19. ábra**). Az esetek 36%-ában a becslési hiba 5% alatt maradt, az összes eset 66%-ában a hiba kisebb volt 10%-nál. Az összes eset több mint 80%-ában pedig a becslési hiba 15% alatt maradt.

Ha hosszabb időszakokat veszünk figyelembe, akkor az őszi árpa terméshozama adott tápanyagellátási szint és növényvédelmi eljárások mellett átlagos talajnedvességi viszonyokat feltételezve, elsősorban a téli hónapok (december, január, február) alacsony hőmérsékleteitől, valamint május hónap középhőmérsékletétől függ. Ha ezekre az időszakokra épülő modellel becsüljük a terméshozamot, akkor átlagosan az esetek 62%-ban a becslési hiba 10% alatt marad, az esetek majd négyötödében (79%) pedig 15% alatt (**24. táblázat**).



19. ábra A becsült termés százalékos hibájának kumulált gyakorisága (Jász-Nagykun-Szolnok megye, 1951-2000)

23. táblázat A becsült termés és a tényleges termés adatainak az összehasonlítása (1951-2000)

	Lineáris összefüggés korrelációs koefficiensei				
Sorszám	**Megye**	**Város**	**Tr_0**	**$Tr_0*f(m_1)$**	**$Tr_0*f(m_1)*f(m_2)$**
1.	**Győr-Moson-Sopron**	Győr	0,92	0,93	0,95
2.	**Vas**	Szombathely	0,86	0,91	0,93
3.	**Zala**	Zalaegerszeg	0,91	0,93	0,94
4.	**Tolna**	Iregszemcse	0,92	0,94	0,94
5.	**Baranya**	Pécs	0,94	0,95	0,95
6.	**Bács-Kiskun**	Kecskemét	0,89	0,90	0,92
7.	**Pest**	Budapest	0,82	0,86	0,91
8.	**Jász-Nagykun-Szolnok**	Szolnok	0,86	0,89	0,92
9.	**Csongrád**	Szeged	0,88	0,90	0,92
10.	**Békés**	Békéscsaba	0,92	0,94	0,95
11.	**Hajdú-Bihar**	Debrecen	0,83	0,90	0,92
12.	**Szabolcs-Szatmár-Bereg**	Nyíregyháza	0,79	0,84	0,86
13.	**Borsod-Abaúj-Zemplén**	Miskolc	0,78	0,85	0,89
14.	**Heves**	Kompolt	0,78	0,84	0,90

24. táblázat A százalékos hiba kumulált gyakoriságai megyénként (1951-2000)

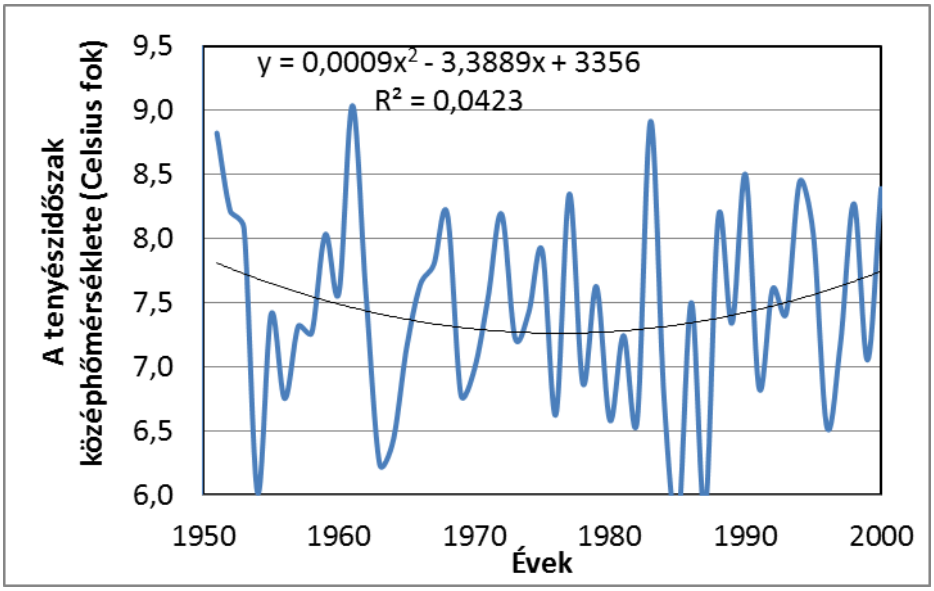
	Százalékos hiba kumulált gyakoriságai						
Sorszám	**Megye**	**5%**	**10%**	**15%**	**20%**	**25%**	**30%**
1.	**Győr-Moson-Sopron**	36	66	78	88	96	100
2.	**Vas**	44	60	78	84	92	98
3.	**Zala**	36	64	88	92	94	94
4.	**Tolna**	42	62	80	88	92	94
5.	**Baranya**	32	60	76	90	96	98
6.	**Bács-Kiskun**	32	58	78	92	96	96
7.	**Pest**	38	62	78	84	92	96
8.	**Jász-Nagykun-Szolnok**	34	66	80	86	88	94
9.	**Csongrád**	40	74	82	90	92	94
10.	**Békés**	36	70	88	92	92	94
11.	**Hajdú-Bihar**	34	64	80	88	94	98
12.	**Szabolcs-Szatmár-Bereg**	30	50	78	86	88	92
13.	**Borsod-Abaúj-Zemplén**	24	58	74	86	92	94
14.	**Heves**	42	60	68	86	90	90

3.3.4 A dekád adatokra épülő modell

A dekád adatokra épülő elemzés már alkalmas arra, hogy megvizsgáljuk, vannak-e olyan időszakok hazánkban, amikor az ország egész területén szoros kapcsolatot mutat az őszi árpa hozama a dekádhőmérséklettel. Különösen alkalmas ilyen vizsgálatra a 20. század második 50 éve, mert akkor, - mint például Jász-Nagykun-Szolnok megye esetén a **20. ábrán** is láthatjuk, - az őszi árpa tenyészidőszakának középhőmérséklete eleinte csökkent, majd a 1980-as évektől fokozatosan emelkedett.

Szignifikáns hőmérsékletű időszakok

Először azt vizsgáltuk meg, változnak-e a szignifikáns hőmérsékleti hatású időszakok akkor, ha 30, 40 vagy 50 évi időszakaszt tekintünk. A feltételek azt jelentik, hogy a tenyészidőszak évi középhőmérséklete (6 ^{o}C és 9 ^{o}C között) 4 ^{o}C-os ingadozást mutat, a változás tendenciája szerint 1951-től 1980-ig a tenyészidőszak középhőmérséklete lassan csökken, majd 1980 után lassú emelkedésbe megy át. A kérdés az, hogy ilyen jellegű éghajlati változékonyság mellett a szignifikáns hatású hőmérsékleti időszakok esetében mutatkozik-e valamilyen eltolódás vagy áthelyeződés.



20. ábra. Az ősz árpa tenyészidőszakának középhőmérséklete Jász-Nagykun-Szolnok megyében (1950/51-1999/2000)

A vizsgálatot úgy végeztük el, hogy először 30 évre határoztuk meg a szignifikáns hőmérsékleti hatású időszakokat, majd 40 évre és végül 50 évre. Természetesen a következő hosszabb időszak mindig magába foglalta az előző rövidebb időszakot, ugyanattól az évtől kezdődően.

A hőmérsékleti viszonyok hatása az őszi árpa termésére

A következő feladat, hogy a tenyészidőszakot osszuk fel rövidebb időszakokra. Naptári időszakot választottunk, mégpedig a dekádot, mert a tapasztalat azt mutatja, hogy az azonos meteorológiai hatások ritkán érvényesülnek hosszabb időszakokon át, a rövidebb időszakok hatása pedig ritkábban jelentkezik évről-évre nagy stabilitással.

A dekádokra osztott tenyészidőszak minden dekádjára megvizsgáltuk a trendaránnyal való összefüggést. Azért végeztük el az elemzést, hogy kiválasszuk a legnagyobb hatást mutató tényezőt vagy tényezőket. Azt tudjuk, hogy a hőmérséklet hat a termésre, de azt ebből a vizsgálatból tudtuk meg, hogy melyik időszakban hat a legerőteljesebben.

Az összefüggések korrelációs koefficienseit a **25. táblázat** tartalmazza szeptembertől június végéig.

Az őszi időszakban október harmadik dekádjának és november második dekádjainak hőmérsékletei szorosabb kapcsolatot mutatnak a terméshozammal. A téli hónapokban december harmadik dekádjának és február első és második dekádjának hőmérsékleti viszonyai vannak hatással a terméshozamokra. A téli hőmérsékleti hatást tehát a dekádokra épülő vizsgálatok is mutatják. A tavasz folyamán április harmadik dekádjának, május harmadik dekádjának és június első dekádjának hőmérsékleti viszonyai mutatnak termésbefolyásoló hatást.

Az időszakok kiválasztását minden megfigyelőhelyre külön végeztük el, tekintve azokat az időintervallumokat, amelyekre nézve a hőmérséklet-terméshozam kapcsolat a legszorosabb volt, ezért az egyes megfigyelőhelyeken a modellben szereplő szakaszok eltérhetnek egymástól.

A **25. táblázat** alapján megadtuk azokat az időszakokat, amelyeknek alapján aztán a fokozatos közelítésű modellt felépítettük. Ezeket az időszakokat a **26. táblázat** tartalmazza.

A kiválasztott dekádok hőmérsékleti adataira építve elvégeztük az Anyag és módszer fejezetrészben leírt modell számítását.

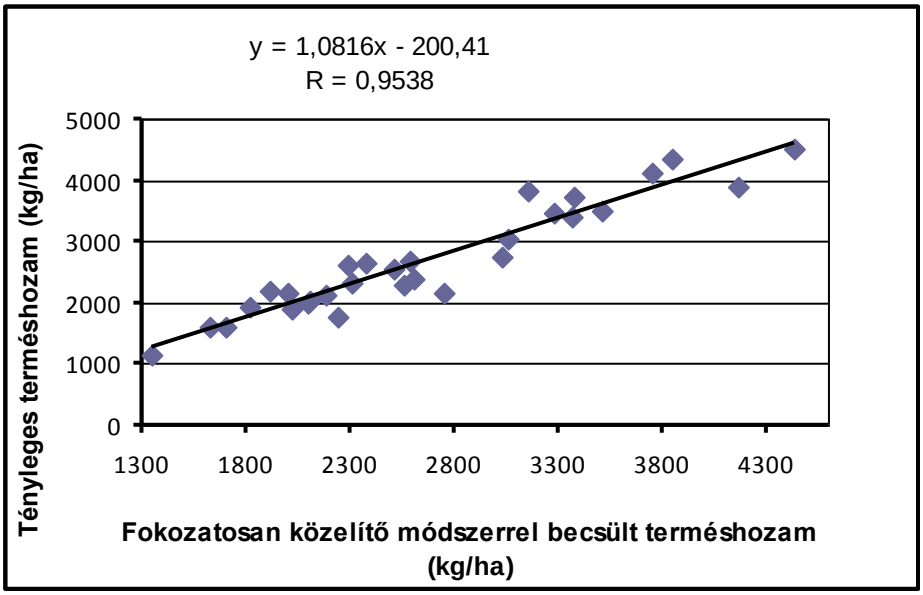
A fokozatos közelítés elvét követve az egyes fokozatokkal egyre jobb becslőfüggvényhez jutunk, a korrelációs hányadosok értékei nőnek, egyre inkább közelítenek az 1 értékhez (**27. táblázat**). Számításaink azt mutatják, hogy amennyiben olyan dekádot vonunk be a

fokozatba, amelynél az eredeti hatás sem volt lényeges, akkor a becslés erőssége is lényegesen csökken.

Az eredmények verifikálása és validálása

Az eredmények értékelése két lépésben történt. Egyrészt meghatároztuk a számított és mért értékek közötti összefüggést (verifikáció), másrészt ellenőriztük, hogy a becslés során a különböző nagyságú hibákat milyen gyakorisággal követjük el (validáció).

Az alkalmazott módszer ellenőrzését úgy végeztük el, hogy a mért és a számított értékeket összefüggésbe hoztuk egymással. A kapott eredmények azt mutatták, hogy a determinációs együtthatók (r^2 értékek) minden megfigyelőhelyen 0,9-nél nagyobbak voltak, vagyis a korrelációs koefficiensek (r értékek) közel voltak 1-hez. Egy ilyen összefüggést mutatunk be a **21. ábrán**.



21. ábra A becsült és a mért termésértékek összehasonlítása Jász-Nagykun-Szolnok megyeében (1951/52-1980/81)

10.13147/NYME.2013.018

25. táblázat A dekádhőmérsékletek és az őszi árpa trendarányai közötti másodfokú összefüggések korrelációs koefficiensei 1951/52-1980/81 (szeptember-január)

Állomás	Hónapok dekádjai														
	Szeptember			Október			November			December			Január		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Győr	0,28	0,30	0,03	0,16	0,10	0,38	0,11	**0,30**	**0,25**	0,29	**0,37**	0,45	0,18	0,11	0,20
Szombathely	0,17	0,27	0,08	0,31	0,10	0,40	0,21	**0,35**	**0,31**	0,38	**0,36**	0,42	0,30	0,28	0,25
Zalaegerszeg	0,18	0,31	0,12	0,26	0,11	0,20	0,16	**0,50**	**0,41**	0,46	0,30	**0,30**	0,11	0,20	0,16
Kaposvár	0,15	0,29	0,23	0,15	0,36	0,18	0,00	**0,57**	**0,33**	0,18	**0,20**	**0,18**	**0,13**	**0,22**	**0,25**
Pápa	0,20	0,22	0,16	0,12	0,07	0,34	0,09	**0,43**	**0,23**	0,24	**0,26**	**0,31**	0,15	0,12	0,30
Tatabánya	0,17	0,26	0,19	0,13	0,09	0,24	0,31	**0,39**	**0,24**	0,39	**0,29**	**0,34**	0,14	0,14	0,22
Martonvásár	0,28	0,25	0,16	0,17	0,22	0,30	0,09	**0,39**	**0,15**	0,21	**0,35**	**0,28**	**0,26**	**0,11**	**0,27**
Iregszemcse	0,19	0,28	0,25	0,11	**0,34**	**0,23**	0,18	**0,51**	**0,20**	0,12	0,18	0,19	0,15	0,14	0,22
Pécs	0,20	0,20	0,11	0,06	0,35	0,05	0,25	**0,55**	**0,33**	0,13	**0,26**	0,25	0,23	0,30	0,15
Kecskemét	0,10	0,27	0,16	0,16	0,24	0,25	0,17	**0,49**	**0,30**	0,16	**0,30**	0,22	0,19	0,19	0,24
Budapest	0,20	0,28	0,21	0,10	0,19	0,23	0,07	**0,32**	**0,28**	**0,39**	**0,34**	0,34	0,18	0,22	0,26
Szolnok	0,25	0,28	0,23	0,22	0,39	0,44	0,15	**0,43**	**0,22**	0,25	**0,51**	0,35	0,14	0,32	0,31
Szeged	0,10	0,17	0,21	0,09	0,28	0,35	0,14	**0,31**	**0,21**	0,07	**0,46**	0,37	0,33	0,19	0,30
Békéscsaba	0,19	0,35	0,27	0,43	0,34	0,34	0,14	**0,31**	**0,18**	0,00	**0,52**	0,45	0,26	0,15	0,33
Debrecen	0,18	0,36	0,06	0,35	0,31	0,38	0,18	**0,29**	**0,33**	0,23	**0,57**	0,42	0,09	0,03	0,23
Nyíregyháza	0,11	0,44	0,21	0,23	0,27	0,28	0,21	**0,22**	**0,29**	0,17	**0,57**	0,42	0,17	0,19	0,04
Miskolc	0,06	0,31	0,10	0,13	0,14	0,48	0,26	**0,03**	**0,19**	0,36	**0,47**	0,37	0,15	0,16	0,04
Kompolt	0,32	0,24	0,10	0,05	0,25	**0,40**	**0,34**	**0,29**	**0,34**	**0,25**	**0,29**	**0,31**	**0,20**	**0,20**	**0,12**
Balassagyarmat	0,30	0,15	0,04	0,18	0,03	0,29	0,43	0,11	0,25	0,07	0,23	**0,42**	0,40	0,20	0,33

10.13147/NYME.2013.018

25. táblázat folytatása A dekádhőmérsékletek és az őszi árpa trendarányai közötti másodfokú összefüggések korrelációs koefficiensei 1951/52-1980/81 (február-június)

Állomás	Hónapok dekádjai														
	Február			Március			Április			Május			Június		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Győr	**0,39**	**0,36**	0,15	0,15	0,21	0,08	0,12	0,30	**0,32**	**0,25**	**0,32**	**0,34**	**0,48**	0,25	0,25
Szombathely	**0,34**	**0,37**	0,05	0,18	0,08	0,12	0,13	0,13	**0,33**	**0,36**	**0,35**	**0,37**	**0,32**	0,27	0,13
Zalaegerszeg	0,42	0,43	0,15	0,22	0,13	0,23	0,13	**0,06**	**0,37**	0,18	0,29	0,21	0,26	0,19	0,13
Kaposvár	**0,35**	**0,34**	0,15	0,23	0,17	0,02	0,22	0,18	0,20	0,10	0,03	0,23	0,27	0,07	0,14
Pápa	**0,35**	**0,36**	0,01	0,02	0,06	0,14	0,23	0,18	0,28	0,18	**0,31**	**0,45**	**0,39**	0,28	0,21
Tatabánya	0,54	0,51	0,21	0,08	0,07	0,17	0,28	**0,15**	**0,34**	0,01	0,26	0,24	**0,48**	0,06	0,42
Martonvásár	**0,35**	**0,27**	0,10	0,14	0,09	0,13	0,22	0,26	0,26	0,19	**0,33**	**0,37**	**0,35**	0,16	0,26
Iregszemcse	**0,35**	**0,31**	0,17	0,18	0,17	0,19	0,15	**0,37**	**0,32**	**0,32**	**0,07**	**0,15**	0,30	0,15	0,17
Pécs	**0,26**	**0,29**	0,23	0,20	0,14	0,16	0,09	**0,44**	**0,27**	**0,29**	0,11	0,12	0,25	0,08	0,19
Kecskemét	**0,38**	**0,41**	0,24	**0,21**	**0,15**	**0,09**	**0,27**	**0,42**	**0,25**	**0,23**	**0,23**	**0,29**	**0,26**	0,15	0,24
Budapest	**0,34**	**0,36**	0,18	**0,20**	**0,09**	**0,18**	**0,32**	**0,20**	**0,39**	**0,13**	**0,36**	**0,42**	**0,37**	0,07	0,26
Szolnok	**0,37**	**0,39**	0,13	**0,26**	**0,19**	**0,07**	**0,17**	**0,23**	**0,28**	**0,15**	**0,35**	**0,40**	**0,39**	0,02	0,22
Szeged	**0,36**	**0,20**	0,29	0,30	0,28	0,13	**0,26**	**0,37**	**0,39**	**0,30**	**0,31**	**0,33**	**0,39**	0,05	0,11
Békéscsaba	**0,31**	**0,24**	0,24	**0,45**	**0,12**	**0,29**	**0,16**	**0,30**	**0,46**	**0,22**	**0,26**	**0,27**	**0,40**	0,06	0,08
Debrecen	**0,41**	**0,37**	0,11	**0,37**	**0,07**	**0,23**	**0,10**	**0,31**	**0,48**	**0,20**	**0,29**	**0,28**	**0,37**	0,05	0,18
Nyíregyháza	**0,32**	**0,49**	0,02	**0,28**	**0,29**	**0,10**	**0,32**	**0,26**	**0,33**	**0,12**	**0,32**	**0,44**	**0,40**	0,26	0,42
Miskolc	**0,37**	**0,29**	0,04	**0,08**	**0,22**	**0,41**	**0,18**	**0,13**	**0,39**	**0,18**	**0,09**	**0,21**	**0,56**	0,12	0,26
Kompolt	**0,43**	**0,38**	0,11	0,12	0,07	0,35	0,17	0,16	0,34	0,13	0,16	0,22	0,55	0,05	0,27
Balassagyarmat	**0,49**	**0,47**	0,18	0,09	0,16	0,06	0,49	0,24	0,38	0,26	0,15	0,31	**0,40**	0,15	0,52

10.13147/NYME.2013.018

26. táblázat Az érzékenységvizsgálat alapján kiválasztott időszakok (1951/52-1980/81)

Megfigyelőhelyek	Kiválasztott időszakok			
	1. időszak	2. időszak	3. időszak	4. időszak
Győr	nov. 11. - nov.30.	dec. 11. - dec.20.	febr.1. - febr. 20.	ápr. 21. - jún. 10.
Szombathely	nov. 11. - nov.20.	dec. 11. - dec.20.	febr.1. - febr. 20.	ápr. 21. - jún. 10.
Zalaegerszeg	nov. 11. - nov.20.	dec. 21. - dec.31.	ápr. 21. - ápr.30.	-
Kaposvár	nov. 11. - nov.20.	dec. 11. - dec.31.	jan. 1. - febr. 20.	-
Pápa	nov. 11. - nov.20.	dec. 11. - dec.31.	febr.1. - febr. 20.	máj. 11. - jún. 10.
Tatabánya	nov. 11. - nov.20.	dec. 11. - dec.31.	ápr. 21. - ápr.30.	jún.1. - jún. 10.
Martonvásár	nov. 11. - nov.20.	dec. 11. - dec.31.	jan. 21. - febr. 20.	máj. 11. - jún. 10.
Iregszemcse	okt.11. - okt. 31.	nov. 11. - nov.30.	febr.1. - febr. 20.	ápr.11. - máj.31.
Pécs	nov. 11. - nov.20.	dec. 11. - dec.20.	febr.1. - febr. 20.	ápr.11. - máj.10.
Kecskemét	nov. 11. - nov.20.	dec. 11. - dec.20.	febr.1. - febr. 20.	márc. 1. - jún. 10.
Budapest	nov. 11. - nov.20.	dec. 1. - dec.20.	febr.1. - febr. 20.	márc. 1. - jún. 10.
Szolnok	nov. 11. - nov.20.	dec. 11. - dec.20.	febr.1. - febr. 20.	márc. 1. - jún. 10.
Szeged	nov. 11. - nov.20.	dec. 11. - dec.20.	febr.1. - febr. 20.	ápr.1. - jún. 10.
Békéscsaba	nov. 11. - nov.20.	dec. 11. - dec.20.	febr.1. - febr. 20.	márc. 1. - jún. 10.
Debrecen	nov. 11. - nov.20.	dec. 11. - dec.20.	febr.1. - febr. 20.	márc. 1. - jún. 10.
Nyíregyháza	nov. 11. - nov.20.	dec. 11. - dec.20.	febr.1. - febr. 20.	márc. 1. - jún. 10.
Miskolc	nov. 11. - nov.20.	dec. 11. - dec.20.	febr.1. - febr. 20.	márc. 1. - jún. 10.
Kompolt	okt.21. - febr.20.	ápr. 21. - ápr. 30.	jún. 1. - jún.10.	-
Balassagyarmat	dec. 21. - dec. 31.	febr.1. - febr.20.	ápr. 21. - ápr. 30.	jún. 1. - jún. 10.

10.13147/NYME.2013.018

27. táblázat A fokozatos közelítés becslőfüggvényeinek kiválasztott szakaszonkénti korrelációs koefficiensei (1951/52-1980/81)

Megfigyelőhelyek	Trend	1. időszak	2. időszak	3. időszak	4. időszak
	$f(t)$	$f(t)\cdot f_1(m_1)$	$f(t)\cdot f_1(m_1)\cdot f_2(m_2)$	$f(t)\cdot f_1(m_1)\cdot f_2(m_2)\cdot f_3(m_3)$	$f(t)*f_1(m_1)*f_2(m_2)*f_3(m_3)*f_4(m_4)$
Győr	0,9139	0,9319	0,9325	0,9405	0,9514
Szombathely	0,8627	0,8889	0,8903	0,9146	0,9275
Zalaegerszeg	0,9042	0,9241	0,9276	0,9252	-
Kaposvár	0,9187	0,9460	0,9479	0,9588	-
Pápa	0,9173	0,9451	0,9466	0,9504	0,9706
Tatabánya	0,8575	0,8955	0,8933	0,8922	0,9092
Martonvásár	0,8958	0,9288	0,9295	0,9429	0,9568
Iregszemcse	0,9207	0,9225	0,9499	0,9580	0,9630
Pécs	0,9054	0,9378	0,9381	0,9468	0,9524
Kecskemét	0,8139	0,8807	0,8921	0,8972	0,9233
Budapest	0,8545	0,8826	0,8859	0,8865	0,9014
Szolnok	0,8961	0,9290	0,9457	0,9523	0,9538
Szeged	0,8313	0,8511	0,8852	0,8932	0,9117
Békéscsaba	0,9162	0,9201	0,9409	0,9480	0,9519
Debrecen	0,8424	0,8647	0,9099	0,9314	0,9300
Nyíregyháza	0,8138	0,8315	0,8847	0,9282	0,9281
Miskolc	0,8430	0,8437	0,8809	0,9011	0,9197
Kompolt	0,8559	0,8939	0,8947	0,9075	-
Balassagyarmat	0,8641	0,8873	0,9138	0,9125	0,9304

10.13147/NYME.2013.018

A beválás pontosságát az Anyag és módszer fejezetben leírtak alapján kiszámítva a kapott eredményeket **28. táblázat** tartalmazza.
A becslési hibát, amely a mért és a számított értékek különbsége a tényleges terméshozam százalékában fejeztük ki. A módszerrel történő becslés során várhatóan a becslések 30-50%-a 5%-nál kisebb eltérést mutat majd a tényleges értékektől, 70-80%-a pedig 10%-nál kisebb hibát mutat. A módszerrel tehát az esetek kb. háromnegyedében 10%-nál kisebb hibával tudjuk becsülni a terméshozamokat.

28. táblázat A becslési hibák előfordulásának kumulatív gyakorisága (%)

Megfigyelőhely	Becslési hiba (%)					
	5% alatt	10% alatt	15% alatt	20% alatt	25% alatt	30% alatt
Győr	47	77	87	93	93	97
Szombathely	33	77	80	90	97	97
Zalaegerszeg	27	73	83	90	97	100
Kaposvár	43	73	80	97	97	100
Pápa	37	77	97	97	97	100
Tatabánya	40	73	80	93	93	93
Martonvásár	37	77	90	93	97	100
Iregszemcse	37	73	83	93	100	100
Pécs	33	70	83	90	97	100
Kecskemét	60	70	83	90	93	93
Budapest	27	70	77	90	93	97
Szolnok	37	70	87	93	93	100
Szeged	37	70	87	87	97	97
Békéscsaba	27	73	87	90	90	100
Debrecen	20	70	90	93	97	97
Nyíregyháza	43	73	83	100	100	100
Miskolc	40	70	80	87	90	93
Kompolt	30	70	80	87	93	97
Balassagyarmat	33	77	83	87	93	97

Elvégeztük a modellszámításokat úgy is, hogy az átlaghőmérsékletek mellé ötödik fokozatként tavaszi dekádok relativ talajnedvesség átlagait tettük, ez azonban nem javított, inkább rontott a terméselőrejelzés pontosságán - a már említett okok miatt.

A dekádok helyett pentádokra alapozva az összefüggésvizsgálatokat, lényeges eltérést nem tapasztalunk a fentiekhez képest.

A kapott eredmények azt mutatják, hogy a fokozatos közelítésű modell jól alkalmazható az év hűvös és nedves időszakában termő őszi árpa terméshozamának becslésére. Abból kiindulva, hogy a gazdasági növények terméshozama elsősorban a meteorológiai viszonyoktól, a vízellátottságtól, a fajtától, a tápanyagellátottság szintjétől és a növényvédelmi eljárásoktól függ, kellő pontossággal meghatározhatjuk az őszi árpa szemtermését, ha az agrotechnikai tényezők (fajta, tápanyag ellátottság, növényvédelem) hatását, mint alapvető termést befolyásoló tényezők hatását a trendfüggvénnyel számítjuk, a meteorológiai tényezők hatásának pedig a trend körül történő évenkénti ingadozásokat tulajdonítjuk. Tovább egyszerűsíthettük a modellt azzal, hogy feltételeztük, a vízellátás az őszi árpa tenyészidőszakában évről-évre kedvező marad. Csak ritkán kell szárazabb időszakokkal számolni, mert azok hazánkban többnyire júliustól fordulnak elő.

10.13147/NYME.2013.018

3.4 AZ ŐSZI ÁRPA ÉGHAJLATI TERMÉSPOTENCIÁLJA

A növények életében a napsugárzás energiája és a víz játszik döntő szerepet. Ez a két elem egymással szoros összefüggésben fejti ki a hatását. Ha csak a napsugárzás energiája hatna a növényre, akkor a növény fokozatosan felmelegedne és a hőstressz hatására elpusztulna. Ha csak víz állna rendelkezésre és a napsugárzás energiája nem, akkor a növény nem tudná felvenni a vizet a benne oldott tápanyagokkal és vízhiányban elpusztulna. Ha tehát a növényt, mint egy kis termelőüzemet képzeljük el, akkor ott a termeléshez szükséges energiát a napsugárzás szolgáltatja, a termeléshez szükséges nyersanyagokat (tápanyagokat) pedig a víz szállítja az asszimiláló szervekhez *(Gates 1993).*

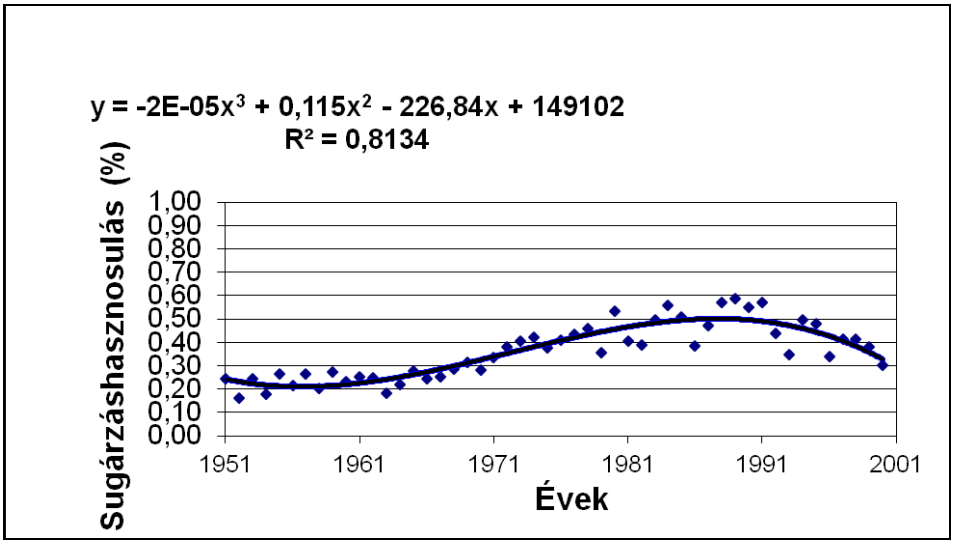
3.4.1 Az őszi árpa sugárzáshasznosítása

Áttekintettük, hogy éghajlatunkon hogyan hasznosítja a napsugárzás energiáját és a vizet az őszi árpa, s ezek alapján milyen termések érhetőek el, s e két elem hasznosulása szempontjából hazánk területét hogyan körzetesíthetjük (*Lantos et al., 2010).*

A számításokat az Anyag és módszer fejezetben leírt módszerrel végeztük el. A kapott sugárzáshasznosulási együtthatók irodalmi értékekkel való összehasonlítása során azt tapasztaltuk, hogy számos esetben a képződött biomassza mennyiség és a növény által elnyelt fotoszintetikusan aktív sugárzás hányadosával határozzák meg a sugárzáshasznosulási együtthatót *(Kiniry et al., 1998; Caviglia* és *Sadrasa, 2001; Kemanian et al. 2004; Lindquist et al., 2005).* Ha átkonvertáljuk az általunk használt összefüggéseket erre a hányadosra, nagyságrendileg megfelelő értékeket kapunk, még az egyes növényekre kapott értékek közötti eltérések is hasonlóan jelennek meg az irodalmi értékekhez viszonyítva.

A sugárzáshasznosulás értékeiben egy határozottan növekvő tendencia tapasztalható 1951-től az 1990-es évek elejéig, a meteorológiai tényezők által okozott évenkénti ingadozás mellett. A 90-es évek elején jelentős visszaesés mutatkozik, majd a következő években az azelőtti

érték közelébe visszaálló sugárzáshasznosulás enyhe csökkenő trendet mutat 2000-ig, mely agrotechnikai okokkal magyarázható.



22. ábra Az őszi árpa gazdaságilag hasznos termésre vonatkozó éves sugárzáshasznosulásának országos átlagai az 1951-2000 közötti időszakra

Az őszi árpa gazdaságilag hasznos termésre vonatkozó sugárzáshasznosulásának országos átlagai az 1950-es évek elejére jellemző 0,25% alatti értékekről az 1980-as évek végére 0,5%-os értékek fölé emelkedtek. Az évezred utolsó évtizedében ez az érték jelentős csökkenést mutat.

A sugárzáshasznosítás területi eloszlása

Összehasonlítottuk 1951-től 1990-ig az őszi árpa termésadatainak megyei átlagát az 1951-től 2000-ig terjedő időszakra kapott 14 megyét figyelembe vévő átlaggal (**29. táblázat).**

Az 1951-1990 közötti éveket vizsgálva a legnagyobb, 0,3% feletti sugárzáshasznosulási értékek Győr-Moson-Sopron, Tolna, Baranya, Jász-Nagykun-Szolnok és Békés megyékre jellemzőek.

Azt tapasztaltuk, hogy átlagosan 0,04%-kal nagyobb átlagos sugárzáshasznosulási értékeket kaptunk az 50 éves időszakban, szinte változatlan minimum és maximum értékek mellett.

10.13147/NYME.2013.018

29. táblázat Az őszi árpa sugárzáshasznosulási együttható értékek átlagai és szélsőértékei 1951-től 1990-ig, illetve 1951-től 2000-ig 14 megyére vonatkozóan

1951-1990	Győr-Moson-Sopron	Vas	Zala	Tolna	Baranya	Bács-Kiskun	Pest
Min. (%)	0,12	0,13	0,14	0,12	0,11	0,10	0,15
Átlag (%)	**0,33**	0,28	0,28	**0,35**	**0,31**	0,28	0,29
Max. (%)	0,56	0,55	0,47	0,59	0,53	0,54	0,49
1951-2000	**Győr-Moson-Sopron**	**Vas**	**Zala**	**Tolna**	**Baranya**	**Bács-Kiskun**	**Pest**
Min. (%)	0,12	0,13	0,14	0,12	0,11	0,10	0,15
Átlag (%)	0,34	0,30	0,30	0,37	0,34	0,30	0,30
Max. (%)	0,56	0,55	0,47	0,59	0,53	0,54	0,49
Növekmény	***5%***	***5%***	***6%***	***5%***	***8%***	***8%***	***1%***
1951-1990	**Jász-Nagykun-Szolnok**	**Csongrád**	**Békés**	**Hajdú-Bihar**	**Szabolcs-Szatmár-Bereg**	**Borsod-Abaúj-Zemplén**	**Heves**
Min. (%)	0,12	0,11	0,12	0,14	0,15	0,12	0,14
Átlag (%)	**0,31**	0,27	**0,32**	0,30	0,27	0,28	0,30
Max. (%)	0,53	0,46	0,56	0,60	0,52	0,55	0,54
1951-2000	**Jász-Nagykun-Szolnok**	**Csongrád**	**Békés**	**Hajdú-Bihar**	**Szabolcs-Szatmár-Bereg**	**Borsod-Abaúj-Zemplén**	**Heves**
Min. (%)	0,12	0,11	0,12	0,14	0,15	0,12	0,14
Átlag (%)	0,32	0,29	0,33	0,30	0,28	0,28	0,30
Max. (%)	0,53	0,46	0,56	0,60	0,52	0,55	0,54
Növekmény	***3%***	***9%***	***4%***	***3%***	***1%***	***0%***	***1%***

Az őszi árpa sugárzáshasznosuláson alapuló éghajlati potenciálja

A sugárzáshasznosuláson alapuló termőképesség meghatározásához ismernünk kell, hogy mennyi napsugárzásból felvett energia szükséges ahhoz, hogy egységnyi biomassza képződjön, s az adott éghajlaton mennyi a tenyészidőszak alatt leérkező

energiamennyiség. Mint már említettük, a szakirodalomból *(Penman, 1971)* ismeretes, hogy 1 kg biomassza előállításához átlagosan 17000 kJ energiamennyiség szükséges. Ebben az esetben, ismerve a teljes vegetációs periódus alatt leérkezett energiamennyiséget (FAKS), meg tudjuk határozni azt, hogy mennyi biomassza képződne, ha a leérkezett teljes energiamennyiség biomasszává alakulna. Ugyanis

$$Y_{AMAX} = \frac{FAKS}{Q_0} \tag{31}$$

ahol Y_{AMAX} a terméshozam elképzelhető abszolút maximumát jelenti. A valóságban természetesen ilyen nagyságú termés nem fordulhat elő, mert a leérkező energiamennyiség egy jelentős része párolgásra fordítódik, egy másik jelentős része pedig a levegő és a talaj felmelegítésére használódik fel. A leérkező energiának tehát csak egy meghatározott kis aránya (ε) fordítódik biomassza képzésre, amelynek maximális értéke (ε_{POT}) jelenti azt az arányt, amely mellett a termés potenciális (Y_{POT}), vagyis

$$Y_{POT} = \varepsilon_{POT} \cdot \frac{FAKS}{Q_0} \tag{32}$$

Az ε_{POT} értéknek van egy elméletileg lehetséges maximális értéke és van egy ténylegesen lehetséges maximális értéke.

Az elméletileg lehetséges maximális érték. Ezt az értéket két kiindulópontból közelítve becsülték meg. Az egyik út – *Burgos (1986)* gondolatmenete alapján – a földfelszínre érkező sugárzás felhasználásának becsült értékéből következtet a maximálisan lehetséges sugárzáshasznosulás értékére. A másik út – *Campbell (1977)* gondolatmenete alapján – a fotoszintetikusan aktív sugárzás középső hullámhosszához tartozó fotonok energiáját veti össze az 1 mólnyi anyagban megkötött energia mennyiségével.

A kétféle becslés szerint a leérkező sugárzásnak maximálisan 22-24%-a hasznosulhat a fotoszintézis során. Ez az az elméleti maximum, amelyet a növények a leérkező sugárzásból hasznosíthatnak.

A ténylegesen lehetséges éghajlati potenciál. Attól függően, hogy mennyi a vegetációs periódus alatti fotoszintetikusan aktív sugárzás és

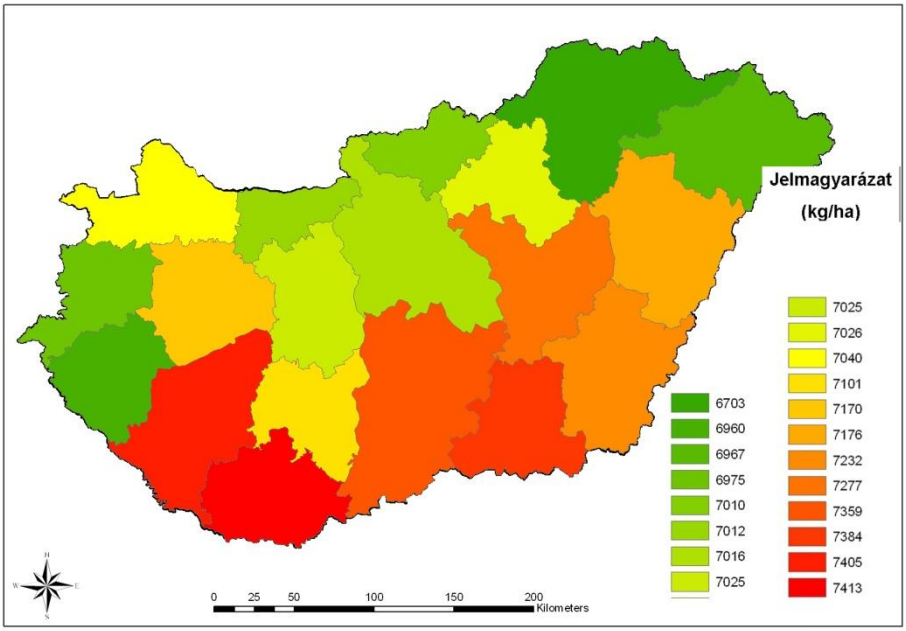
milyen ε értéket választottunk a potenciál meghatározásához, változhat a kapott eredmény is. Célszerű az ε értéket az elmúlt évtizedekben ténylegesen meghatározott értékek alapján, de azt valamelyest túlbecsülve megválasztani. Őszi árpa esetén 2%-os sugárzáshasznosulási értékkel számoltunk, mivel a tényleges értékek alig érik el az 1,2%-ot.
A számításoknál megyei termésátlagokat vettünk figyelembe.

30. táblázat Az őszi árpa sugárzáshasznosítása alapján meghatározott terméspotenciálja 19 megyére vonatkozólag (kg/ha) (1951-1990)

1951-1990	**Győr-Moson-Sopron**	**Vas**	**Zala**	**Somogy**	**Komárom-Esztergom**
Y_{POT}	7040	6975	6960	7405	7012
1951-1990	**Veszprém**	**Fejér**	**Tolna**	**Baranya**	
Y_{POT}	7170	7025	7101	7413	
1951-1990	**Pest**	**Bács-Kiskun**	**Jász--Nagykun-Szolnok**	**Csongrád**	**Békés**
Y_{POT}	7016	7359	7277	7384	7232
1951-1990	**Hajdú-Bihar**	**Szabolcs-Szatmár-Bereg**	**Borsod-Abaúj-Zemplén**	**Heves**	**Nógrád**
Y_{POT}	7176	6967	6703	7026	7010

A nagyobb sugárzásmennyiség miatt nagyobb lehetséges hozamok várhatók az ország déli – sugárzásban gazdagabb – területein, mint az északi és a nyugati határszélhez közeli részeken **(30. táblázat)**. Az őszi árpa sugárzáshasznosuláson alapuló terméspotenciáljának területi eloszlását a **23. ábrán** tanulmányozhatjuk.

A tényleges sugárzáshasznosulás meglehetősen alacsony szintű, ezért nemesítéssel sokat lehet javítani rajta. Ha sikerül a sugárzáshasznosulást 2%-ra emelni, akkor a lehetséges termések 7 tonna körül alakulhatnak.



23. ábra. Az őszi árpa sugárzáshasznosuláson alapuló termőképessége

3.4.2 Az őszi árpa vízhasznosítása

A növények a talajban tárolt vizet veszik fel. A talajban lévő víz a talajpórusokban tárolódik a levegővel együtt. Ezért mindig figyelembe kell venni, hogy a víz és a levegő egymás rovására képes teret foglalni a pórusokban. Ha túl sok a víz, akkor kiszorul a levegő a pórusokból, s a növények szenvednek az oxigénhiánytól. Ha pedig kevés a víz, akkor a pórusok nagyobb részét levegő tölti ki, s a növényeknél vízhiány lép fel.

A víznek a talajból el kell jutnia az asszimiláló szervekhez. Mindenekelőtt megfelelő mennyiségű vízre és meghatározott küszöbhőmérséklet feletti értékekre van szükség, hogy a víz a talajból a gyökerekbe kerüljön. Szükség van továbbá a transzspirációra, amely biztosítja a víz áramlását a gyökerektől egészen a levelekig, ahonnan a felesleges víz a levegőbe távozik.

A növények gyökereikkel a talajban, zöld részeikkel pedig a levegőben foglalnak helyet, ezért egyaránt fontos számukra a talaj

felvehető víztartalma, a levegő nedvességtartalma, valamint a levegő párologtató képességének hatására a gyökerektől az asszimiláló szervekig (levelekig) mozgó víz. Ez utóbbi fontosságát még az is emeli, hogy a tápanyagok is vízben oldott állapotban jutnak el a talajból a fotoszintetizáló részekhez. Emiatt szükséges, hogy a növények vízellátása folyamatos és zavartalan legyen. Ezt a talajok vízkészlete biztosítja, amely a lehulló csapadékmennyiség és az elpárolgó vízmennyiség együttes hatására alakul ki. Amikor csapadékos időszak van, akkor a vízbevétel kerül túlsúlyba és a talaj vízkészlete növekszik. Amikor nem esik csapadék, akkor a párolgás szerepe válik meghatározóvá, s a talaj vízkészlete csökken (*Varga-Haszonits, 1991)*.

Az őszi árpa vízhasznosításának meghatározása

A vízhasznosulás számításához a terméshozamok adataira és a tényleges evapotranszspiráció adataira van szükség. A terméshozam adatokat a Központi Statisztikai Hivatal (KSH) szolgáltatta, az őszi árpa tényleges evapotranszspirációjának értékeit (az Anyag és módszer fejezetben leírt módon számítva) pedig a **31. táblázat** tartalmazza.

Az őszi árpa tényleges evapotranszspirációjának a tenyészidőszakon belüli időbeli eloszlása hasonló képet mutat, mint a potenciális evapotranszspirációé, vagyis a vízfelhasználás zöme a tavaszi-nyári hónapokra jellemző. A területi eloszlás azonban már bonyolultabbá válik, itt ugyanis már a vízellátottsági viszonyok is közrejátszanak az eloszlás kialakulásában. Ezek pedig helyi jellegzetességeket mutathatnak (**31. táblázat)**. Az ország középső és északkeleti szárazabb területein kisebb a tényleges evapotranszspiráció, mint a jobb vízellátottságú területeken.

A **(27) egyenlet** számításához szükséges adatok birtokában meghatároztuk az őszi árpa vízhasznosítását (**32. táblázat)**. Az adatok azt mutatják, hogy 1 kg víz elpárologtatásával hány gramm őszi árpa szemtermés keletkezik. Az átlagértékek alapján minden kg víz elpárologtatásával 0,85-1,10 gramm szemtermés keletkezik. A maximális értékek 1,40 és 2,15 gramm között változtak. Feltűnő, hogy az észak-alföldi megyékben (Jász-Nagykun-Szolnok, Hajdú-Bihar és Szabolcs-Szatmár–Bereg) a maximumok meghaladják a 2 grammot. A minimumok 0,29 és 0,54 gramm között változnak.

10.13147/NYME.2013.018

31. táblázat A tényleges evapotranszspiráció havi átlagai (mm) az őszi árpa tenyészidőszaka folyamán (1951-2000)

Megfigyelőhely	Hónapok									
	október	november	december	január	február	március	április	május	június	összesen
Békéscsaba	25,7	12,1	7,1	5,9	11,0	36,2	45,1	83,5	91,1	317,8
Budapest	24,7	12,4	7,7	7,2	12,8	39,1	48,4	78,5	80,5	311,3
Debrecen	25,3	12,0	6,5	5,4	9,6	32,6	43,3	79,6	83,1	297,4
Győr	28,9	15,7	10,3	8,9	13,7	37,0	44,9	79,6	84,9	323,9
Iregszemcse	31,8	16,2	9,0	8,2	13,6	35,4	44,4	81,4	90,1	330,0
Kecskemét	23,6	12,4	8,0	7,0	12,3	35,4	43,9	75,8	77,5	296,0
Kompolt	25,8	11,5	6,5	6,0	9,4	33,3	44,2	79,7	85,1	301,5
Miskolc	26,1	11,0	5,1	5,1	8,3	31,3	42,5	77,8	88,0	295,1
Mosonmagyaróvár	28,7	14,7	8,9	7,7	11,8	31,3	41,0	76,9	85,5	306,6
Nyíregyháza	25,6	11,4	5,6	5,2	8,6	31,7	45,0	77,9	78,1	289,1
Pécs	34,7	16,7	10,6	9,4	16,2	41,7	46,6	84,6	93,9	354,4
Szeged	25,1	11,8	6,9	6,2	11,4	35,7	42,8	75,8	80,3	296,1
Szolnok	23,9	11,3	6,4	5,6	10,3	34,3	43,1	78,1	84,0	297,1
Szombathely	32,4	14,8	7,5	6,5	11,3	30,5	39,0	71,4	86,1	299,6
Zalaegerszeg	36,0	17,9	9,0	8,0	13,6	35,1	41,8	75,3	88,3	324,9
Országos átlag	27,9	13,5	7,7	6,8	11,6	34,7	43,7	78,4	85,1	309,4

10.13147/NYME.2013.018

32. táblázat Az őszi árpa 1951-1990 közötti időszakra kiszámított vízhasznosulási értékei (g/kg)

Megfigyelőhely	Vízhasznosulás (g/kg)		
	Maximum	Átlag	Minimum
Balassagyarmat	1,87	0,95	0,54
Békéscsaba	1,79	1,03	0,37
Budapest	1,86	0,91	0,51
Debrecen	2,10	0,99	0,41
Győr	1,85	1,02	0,40
Iregszemcse	1,93	1,09	0,32
Kaposvár	1,89	0,97	0,35
Kecskemét	1,82	0,99	0,43
Kompolt	1,72	0,95	0,42
Martonvásár	1,86	0,99	0,52
Miskolc	1,89	0,87	0,41
Nyíregyháza	2,14	0,91	0,51
Pápa	1,79	0,98	0,50
Pécs	1,82	0,95	0,29
Szeged	1,56	0,97	0,42
Szolnok	2,06	1,05	0,41
Szombathely	1,67	0,94	0,40
Tatabánya	1,72	0,87	0,44
Zalaegerszeg	1,41	0,78	0,42

10.13147/NYME.2013.018

Az őszi árpa vízhasznosuláson alapuló éghajlati potenciálja

A vízhasznosulás értékeinek birtokában meghatározhatjuk a ténylegesen lehetséges maximális terméshozamot, amit a vízhasznosuláson alapuló éghajlati potenciálnak is szoktak nevezni. Ehhez csupán a **(24) egyenlet** átalakítására van szükség:

$$Y = WUE \cdot E \qquad (33)$$

Ha a **(33) egyenletbe** behelyettesítjük a WUE adott területen mért maximális értékét (WUE_{MAX}), a tényleges evapotranszspiráció (E) helyett pedig a potenciális evapotranszspiráció maximális értékét (PE_{MAX}) vesszük figyelembe, akkor megkapjuk az adott területre ténylegesen lehetséges maximális terméshozamot (Y_{MAX}):

$$Y_{MAX} = WUE_{MAX} \cdot PE_{MAX} \qquad (34)$$

A **(34) formula** segítségével a ténylegesen lehetséges maximális terméshozam egyszerűen számítható. Ha az egyenlet baloldalán a termést kg/ha értékben szeretnénk megkapni, akkor a WUE_{MAX} értékét kg/kg-ra, a PE_{MAX} értéket pedig kg/ha értékre kell átszámítani.

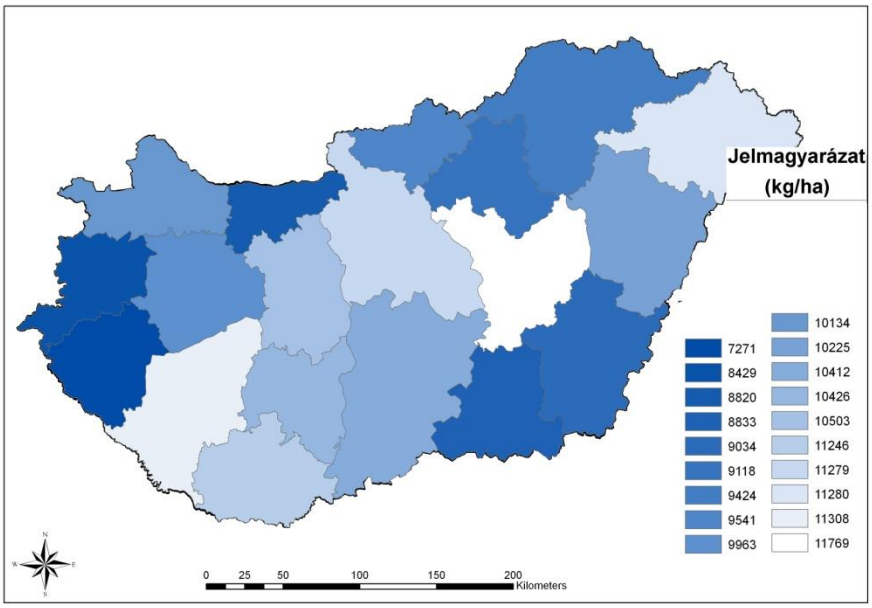
A **33. táblázat** harmadik oszlopában feltüntettük az egyes megfigyelőhelyeken kapott WUE maximális értékeit, a negyedik oszlopban pedig a potenciális evapotranszspiráció őszi árpa tenyészideje alatti maximális értékeit. Ezek az 1951 és 1990 közötti időszakban, a hazánkban ténylegesen előfordult legmagasabb értékek. Ha ezek az értékek egy adott helyen és egy adott évben együtt fordulnának elő, akkor - minden egyéb hatótényezőt kedvezőnek tekintve – az ötödik oszlopban látható terméseredmények alakulnának ki. A terméseredmények eloszlásra az a jellemző, hogy az északi és a nyugati hűvösebb területeken adódnának a 10 tonna alatti terméshozamok, míg az ország többi területein (kivéve Békéscsabát és Szegedet) 10 tonna feletti terméshozamokra lehetne számítani. Az őszi árpa vízhasznosuláson alapuló termékpotenciáljának interpolált területi eloszlását a **25. ábra** szemlélteti.

A vízhasznosulásnál szintén nagy lehetőség van a terméshozamok emelésére.

10.13147/NYME.2013.018

33. táblázat Az őszi árpa vízhasznosuláson alapuló termőképessége (1951-1990)

Megfigyelőhely	Megye	A terméspotenciál meghatározásához szükséges adatok		
		WUE (g/kg)	PE_{MAX} (kg/m^2)	Y_{MAX} (kg/ha)
Balassagyarmat	Nógrád	1,87	510,2	9541
Békéscsaba	Békés	1,79	507,4	9034
Budapest	Pest	1,86	606,4	11279
Debrecen	Hajdú-Bihar	2,10	486,9	10225
Győr	Győr-Moson-Sopron	1,85	547,8	10134
Iregszemcse	Tolna	1,93	540,2	10426
Kaposvár	Somogy	1,89	598,3	11308
Kecskemét	Bács-Kiskun	1,82	572,1	10412
Kompolt	Heves	1,72	530,1	9118
Martonvásár	Fejér	1,86	564,7	10503
Miskolc	Borsod-Abaúj-Zemplén	1,89	498,6	9424
Nyíregyháza	Szabolcs-Szatmár	2,14	527,1	11280
Pápa	Veszprém	1,79	556,6	9963
Pécs	Baranya	1,82	617,9	11246
Szeged	Csongrád	1,56	566,2	8833
Szolnok	Jász-Nagykun-Szolnok	2,06	571,3	11769
Szombathely	Vas	1,67	504,7	8429
Tatabánya	Komárom-Esztergom	1,72	512,8	8820
Zalaegerszeg	Zala	1,41	515,7	7271



25. ábra Az őszi árpa vízhasznosuláson alapuló terméspotenciálja

10.13147/NYME.2013.018

4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Vizsgálataink azt mutatják, hogy az őszi árpa vegetációs periódusa egybevetve az egynyári növények periódusával, annál hűvösebb és nedvesebb, így egy éghajlatváltozás hatására bekövetkező – leggyakrabban előrejelzett – felmelegedési tendencia várhatóan kevésbé szélsőséges viszonyokat okozna, mint az egynyári gabonáknál, feltételezve, hogy a változási tendencia az év egészében egységesen jelentkezik.

A szemtermés nagyságát agrotechnikai- (fajta, tápanyagellátottság, növényvédelem) és meteorológiai tényezők (termikus és higrikus elemek) befolyásolják. Mivel a meteorológiai hatások közül rendszerint a higrikus elemek mutatnak nagyobb változatosságot, ezért az őszi árpa vízellátottsági viszonyait mind a talajnedvesség, mind pedig a párolgás iránti igény szempontjából megvizsgáltuk, s azt találtuk, hogy az őszi árpa tenyészidőszakát viszonylag jó vízellátottsági viszonyok jellemzik.

Előfordulhat azonban ritkán, egyes években, hogy szeptember és december közötti hónapokban a talajnedvesség szintje a kedvező intervallum alsó határa alatt marad. Hasonló mondható el a tenyészidőszak utolsó két hónapjáról, a májusról és a júniusról is.

Hazánkban az őszi árpára vonatkozóan öt olyan fenológiai megfigyelőhellyel rendelkezünk, amelyen a megfigyelési időszak hossza eléri, vagy akár meghaladja a 30 évet. Ezek a megfigyelési sorok lehetőséget adnak arra, hogy megvizsgáljuk a ténylegesen megfigyelt fenofázisok hosszának és a tenyészidőszak hosszának az évenkénti változásait. A megfigyelőhelyenkénti változások eltérő tendenciákat mutatnak, de bármely irányú is a tendencia, a változások 10 év alatt 1-2 nap nagyságrendűek.

A növényfiziológiából ismeretes, hogy a növények fejlődésére elsősorban a hőmérséklet és a napsugárzás van hatással. A hőmérséklet és napsugárzás azonban egy időben együtt hat a növényre, ezért a hatás megállapításához indokolt együttes figyelembe vételük. A feladatot a radiotermikus index segítségével oldottuk meg, s azt kaptuk, hogy Magyarországon a radiotermikus index segítségével jó pontossággal meghatározható a fenofázisok hossza.

A termikus elemek összegei és a fenofázisok hossza között kapott szoros lineáris összefüggések lehetőséget adnak arra, hogy a termikus meteorológiai elemek összegei segítségével meghatározzunk egy növényfejlődési indexet, amelynek alapján a növény fejlődése napról-napra nyomon követhető. A számítások eredményeit a számított és a tényleges értékek közötti összefüggés meghatározásával verifikáltuk. Az elemzés eredményeként megállapítottuk, hogy Magyarországon elsősorban a hőmérsékleti összeg és a fotoszintetikusan aktív sugárzás összege alkalmazható az őszi árpa fejlődési indexének számítására. A kapott eredmények közötti szorosabb összefüggés csak akkor lenne várható, ha az egyes időszakokhoz tartozó potenciális összeg meghatározását pontosítani tudnánk.

A fenofázisok számított és tényleges értékeinek a bekövetkezési időpontjai közötti különbségek vizsgálata is megerősítette, hogy Magyarországon az őszi árpa fejlődési ütemének számítására a fotoszintetikusan aktív sugárzás és a hőmérsékleti összeg egyaránt használható. A kapott eredmények pedig gyakorlati szempontból kielégítő pontosságúnak tekinthetők ugyan, azonban a pontosság növelése érdekében további kutatásokra van szükség.

Az őszi árpa vízhasznosítása azonban nemcsak a vízellátottsági viszonyoktól függ, hanem a tápanyagellátottságtól is. Ezért a növény vízhasznosítása az agrotechnikai szint emelkedésével az 1960-as évektől fokozatosan emelkedett az 1990-es évek végéig, majd 1990 után csökkenő tendenciát mutat.

Figyelembe véve azonban a kedvező vízellátottsági viszonyokat és a megfelelő tápanyagszint és növényvédelem biztosítását hazánk éghajlati viszonyai mellett a nyugati és északi hűvösebb területeken a gyengébb WUE értékek miatt a vízhasznosuláson alapuló ténylegesen lehetséges maximális terméshozamok 10 t/ha érték alatt maradnak, mivel nem elég hatékony a vízfelhasználás, míg az ország többi területén 10 t/ha felettiek.

A sugárzáshasznosulás idősoraiban tapasztalható növekvő trend az 1950-es évektől a korszerűbb növényfajták és a modernebb agrotechnikai eljárások bevezetését tükrözi. Az emelkedő tendenciában az 1990-es évek után tapasztalhatunk változást, amely agrotechnikai okokkal magyarázható.

A sugárzáshasznosítás alapján meghatározott terméspotenciál területi ingadozása elmarad a vízhasznosításból számolt potenciális termések változékonyságától. Az elméletileg lehetséges maximális

értékekhez viszonyítva a vizsgálataink során kapott eredmények viszonylag alacsony sugárzáshasznosulás értékeket adtak az őszi árpára. Célszerű lenne a fontosabb gazdasági növények sugárzáshasznosulási együtthatóinak értékét növelni, mert ekkor arányosan nagyobb mértékű termést kapnánk. Ezt a célt a sugárzást jobban hasznosító fajták nemesítésével és a sugárzáshasznosulást elősegítő technológiai eljárások alkalmazásával érhetjük el.

Az őszi árpa terméselőrejelzésére kialakított modell által kapott eredmények szerint a fokozatos közelítésű modell jól alkalmazható az év hűvös és nedves időszakában termő őszi árpa termésének becslésére. Abból kiindulva, hogy a gazdasági növények termése elsősorban a meteorológiai viszonyoktól, a vízellátottságtól, a tápanyagellátottságtól és növényvédelmi eljárásoktól függ, kellő pontossággal meghatározhatjuk az őszi árpa terméshozamát, ha az agrotechnikai tényezők (fajta, tápanyag ellátottság, növényvédelem) hatását, mint alapvető termést befolyásoló tényezők hatását a trendfüggvénnyel számítjuk, a meteorológiai tényezők hatásának pedig a trend körül történő évenkénti ingadozásokat tulajdonítjuk. Tovább egyszerűsíthettük a modellt azzal, hogy a vízellátás az őszi árpa tenyészidőszakában évről-évre kedvező marad. Csak ritkán kell szárazabb időszakokkal számolni, mert azok hazánkban többnyire júliustól fordulnak elő.

A modell jól mutatja, hogy a tenyészidőszak folyamán egymást követő időszakok hogyan befolyásolják a terméshozamokat. Ilyenformán mivel ez a modell már az egymás utáni időszakok hatását is figyelembe tudja venni, előrelépést jelent a tisztán statisztikai modellektől a dinamikus modellek felé.

Az éghajlati változékonyság, vagy egy esetleges éghajlatváltozás hatása egy ilyen modellel jobban tanulmányozható, mint egy egyszerű statisztikai modellel. Egyrészt lehetőséget kapunk arra, hogy megvizsgáljuk: a változások a vegetációs periódus mely időszakában jelentkeznek, másrészt a változások okozta hatásokat a terméseredményeken keresztül számszerűen is nyomon követhetjük.

10.13147/NYME.2013.018

5. Új VAGY ÚJSZERŰ tudományos eredmények (Tézisek)

1) A meteorológiai tényezők őszi árpa fenofázis tartamaira gyakorolt hatásának vizsgálatánál a radiotermikus index segítségével sikerült korábbi hazai vizsgálatok eredményeinél szorosabb, közel determinisztikus összefüggést megállapítani.
2) A kelés időpontja és a kelés-érés időszak hossza között nagyon szoros (0,9 feletti korrelációs koefficiensű) összefüggést kaptunk, aminek segítségével becsülhető a növény érése, s a betakarításának ideje.
3) Számszerűen meghatároztuk, hogy az őszi árpa termésének évenkénti alakulásában hogyan hasznosul a tenyészidőszak alatt rendelkezésre álló sugárzás. Az őszi árpa gazdaságilag hasznos termésre vonatkozó sugárzáshasznosulásának országos átlagai az 1950-es évek elejére jellemző 0,25% alatti értékekről az 1980-as évek végére 0,5%-os értékek fölé emelkedtek. Az évezred utolsó évtizedében ez az érték jelentős csökkenést mutat.
4) Számszerűsítettük, hogy az őszi árpa termésének évenkénti alakulásában hogyan hasznosul a növény által elpárologtatott vízmennyiség. Az átlagértékek alapján minden kg víz elpárologtatásával 0,85-1,10 gramm szemtermés keletkezik. A maximális értékek 1,40 és 2,15 gramm között változtak. Feltűnő, hogy az észak-alföldi megyékben (Jász-Nagykun-Szolnok, Hajdú-Bihar és Szabolcs-Szatmár–Bereg) a maximumok meghaladják a 2 grammot. A minimumok 0,29 és 0,54 gramm között változnak.
5) A reziduumok meghatározására épülő fokozatos közelítés (szukcesszív approximációs) módszer segítségével nagyon szoros korrelációjú összefüggést sikerült megállapítani az őszi árpa tenyészidőszaka alatti meteorológiai tényezők és a szemtermés között. Ezáltal sikerült megállapítani, melyek a tenyészidőszak alatt a meteorológiai tényezők szempontjából szignifikáns időszakok és mely meteorológiai tényezők hatása a legerősebb a termésre. Ez utóbbiak segítségével sikerült a terméshozamokat az esetek több, mint 70%-ában 10%-nál kisebb hibával meghatározni, ami nagyon jó eredménynek tekinthető.

6) Kidolgoztunk egy a de Wit-féle produkciós szintek figyelembe vételére épülő éghajlat-termés modellt, amelyben
   - a 3. és 4. szintet jelentő agrotechnikai tényezőket (fajta, tápanyagellátás, növényvédelem) a trendfüggvény alkalmazásával,
   - a 2. szintet jelentő vízellátottságot a talajnedvesség-igény és a párolgási igény agroklimatológiai analízise útján,
   - az 1. produkciós szintet jelentő meteorológiai hatásokat pedig a reziduumok elemzésére alapozott fokozatos közelítés módszerével határoztuk meg.

   Ilyen jellegű modellt az őszi árpára vonatkozóan hazánkban még nem dolgoztak ki, de az angol nyelvű szakirodalomban sem találkoztunk hasonlóval.

IRODALOMJEGYZÉK

Aase, J. K., Pikul, Jr. J. L. 2000: Water use in a modified summer under wheat–fallow had 257 kg ha^{-1} more NO_3–N in fallow system on semiarid Northern Great Plains. Agric. Water soil between the depths of 1.2 and 3.4 m than plots Manage. 43:345–357.

Aggarwal, P. K., Kalra, N., Chander, S., Pathak, H. 2006: InfoCrop: A dynamic simulation model for the assessment of cropyields, losses due to pests, and environmental impact of agro-ecosystems in tropical environments. I. Model description. Agric Syst 89:1–25.

Anda A. 1998: Növénystressz vizsgálatok szélsőséges meteorológiai körülmények között. Meteorológiai Tudományos Napok: Az időjárás és az éghajlat hatása a növény-víz kapcsolatrendszerre c. konferencia kiadványa 121-128.

Anda A., Burucs, Z. 1997: A növény és víz kapcsolata a talaj-növény-légkör rendszerben. PATE Nyomda, Keszthely.

Anda, A. 1995: Problems in lysimeter use for determing the water demand of sugar beet. Időjárás, 99. 1. 33-43.

Anda, A. 2002: Slices of plant-water relation in reflected to investigations carried out at Agrometeorological Research Station of Keszthely. Időjárás, 106. 3-4. 137-160.

Anonymus 2007: BESZÁMOLÓ az MTA Növényvédelmi Kutatóintézete 2007- évi tudományos tevékenységéről: Az árpa sótűrését fokozó *Piriformospora indica* endofita gomba hatása az antioxidánsokra.

Antal E., Posza I. 1970: A különböző növényállományok növénykonstansai és a változásuk a tenyészidőszak folyamán. Beszámolók az 1968-ban végzett tudományos kutatásokról, OMI Hivatalos Kiadványai XXXV. 452-460.

Antal, E. 2003: Az éghajlatváltozás és a növényállomány vízellátottságának kérdőjelei a XXI. Század elején. “AGRO-21” Füzetek. “AGRO-21” Kutatási Programiroda, 32. 25-48.

Antal, E., Glantz, M. H. 1988: Identifying and coping with extreme meteorological events. Published by the Hungarian Meteorological Service, Budapest**.**

Antal, E., Szesztay, K. 1995: A várható klímaváltozás és a környezet kölcsönhatásai. “AGRO-21” Füzetek. “AGRO-21” Kutatási Programiroda, 10. 27-28.

Arisnabarreta, S., Miralles, D. J. 2008: Critical period for grain number establishment of near isogenic lines of two- and six-rowed barley. Field Crops Research 107. 196-202.

Arnold, C. Y. 1959: The development and significance of the base temperature in a linear heat unit system. Proceedings of the American Society for Hortcultural Sciense. 74. 430-445.

Aufhammer, W., Kübler, E., Bury, M. 1994: Stickstoffaufnahme und Stickstoffru¨cksta¨nde von Hauptfrucht- und Ausfallrapsbesta¨nden. J. Agron. Crop Sci. 172. 255–264.

Bahrman, N., Gouis, J. L., Hariri, D., Guilbaud, L., Jestin, L. 1999: Genetic diversity of old French six-rowed winter barley varieties assessed with molecular, biochemical and morphological markers and its relation to BaMMV resistance Heredity 83. 568–574.

Banedjschafie, S., Bastani, S. , Widmoser, P., Mengel, K. 2008: Improvement of water use and N fertilizer efficiency by subsoil irrigation of winter wheat. European Journal of Agronomy, 28. 1. 1-7.

Barasits, T. 2004: Az árpa károsítói. In: Tomcsányi A., Turcsányi G.: Az árpa. *Hordeum* L. Akadémiai Kiadó Budapest. 221-223.

Berdahl, J. D., Rasmusson, D. C., Moss, D. N. 1972: Effect of leaf area on photosynthetic rate, light penetration and grain yield in barley. Cro. Sci.12. 177-180.

Besenyei L., Gidai E., Nováky E. (1977): Jövőkutatás, előrejelzés a gyakorlatban. Módszertani kézikönyv. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 290.

Biscoe, P. V., Gallagher, J. N. 1977: Weather, dry matter production and yield; in: Landsberg, J. J. – Cutting, C. V. (eds.): Environmental effects on crop physiology. Acad. Press, London-New York-San Francisco, 75-100.

Bocz E. 1963: Újabb adatok a fontosabb növények öntözési idejéhez és az öntözés gyakoriságához. Debreceni Agrártudományi Főiskolai Tudományos Közlemények, 13-22.

*Bonachela, S., Orgaz F., Fereres E. 1995***:** Winter cereals grown for grain and for the dual purpose of forage plus grain II., Water use and water-use efficiency, Field Crops Research. 44. 1. 13-24.

Bonhomme, R. 2000: Bases and limits to using „degree.day"units. European Journal of Agronomy. 13. 1-10.

Briggs, D. E. 1978: Barley. Chapman and Hall, London.

Brisson, N., Gary, C., Justes, E., Roche, R., Mary, B., Ripoche, D., Zimmer, D., Sierra, J., Bertuzzi, P., Burger, P., Bussiere, F., Cabidoche, Y.M., Cellier, P., Debaeke, P., Gaudill´ere, J.P., H´enault, C., Maraux, F., Seguin, B., Sinoquet, H., 2003: An overview of the crop model STICS. Eur. J. Agron. 18, 309–332.

Burgos, J. J. 1986: Equilibrium and extreme climatic conditions of world's biomes and agroecosystems. Land Use and Agrosystem Management under Severe Climatic Conditions, WMO. Technical Note, 148. 12-56.

Campbell, I. M. 1977: Energy and the atmosphere. A physical-chemical approach. John Wiley and Sons Ltd., London.

Cantero-Martínez, C., Angás, P. Lampurlanés, J. 2007: Long-term yield and water use efficiency under various tillage systems in Mediterranean rainfed conditions. Ann. Appl. Biol. 150. 293–305.

Caprio, J. M. 1977: The solar thermal unit concept in problems related to plant development and potential evapotranspiration. In:

Environmental Effects on Crop Physiology, ed. J. J. Landsberg and C.V.Cutting, Academic Press, London, 353-364.

Caviglia, O. P., Sadrasa, V. O. 2001: Effect of nitrogen supply on crop conductance, water- and radiation-use efficiency of wheat. Field Crops Research (69) 259-266.

Charles-Edwards, D. A., Doley, D., Rimmington, G. M. 1986: Modelling Plant Growth and Development. Academic Press, Sydney, 235.

Chuine, I., K. Kramer, H. Hännienen 2003: Plant Development Model. In: PHENOLOGY: An Intergrative Environmental Science, ed. By M.D. Schwartz, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 217-235.

Conrad, V., L.W. Pollak 1950: Methods in Climatology. 2nd Rev. Ed. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 459.

Cooper, P. J. M., Gregory, P. J., Keatinge, J. D. H., Brown, S. C. 1987: Effects of fertilizer, variety and location on barley production under rainfed conditions in northern Syria. 2. Soil water dynamics and crop water use. Field Crops Res. 16. 67-84.

Cossani, M. C., Savin, R., Slafer, G. A., 2007: Contrasting performance of barley and wheat in a wide range of nitrogen and water availabilities in Mediterranean Catalonia (Spain). Annals of Applied Biology 151. 167-173.

Cossani, M. C., Slafer, G. A., Savin, R. 2009: Yield and biomass in wheat and barley under a range of conditions in a Mediterranean site. Field Crops Research. 112. 205-213.

Crocker, W., Barton, L. V. 1953: Psychiology of seeds. An introduction to the experimental study of seed and germination problems; in Verdoorn, F. (ed.): A new series of plant science book 29. Chronica Botanica Co., Waltham, Mass., USA

Curran, P. L, McCarthy, H. V. 1986: Dormancy studies on commercial seed lots of the barley cultivar Igri. Seed Sci. Technol. 14. 567-576.

Delogu, G., Cattivelli, L. , Pecchioni, N. , Falcis, D. D., Maggiore, T. , Stanca, A. M. 1998: Uptake and agronomic efficiency of

nitrogen in winter barley and winter wheat. European Journal of Agronomy, l, 9. 1. 11-20.

Dennett, M.D., Elliston, J., Speed, C.B. 1981: Climate and cropping systems in West Africa. Geoforum 12 (2). 193-202.

Dickson, A. D. 1968: Barley for malting and food; in anonymus (ed): Barley: origin, botany, culture, winterhardiness, genetics, utilisation, pests. USDA Agriculture Handb. 338. 112-120.

Doorenbos, J., Kassam, A.H. 1979: Yield response to water. U.N. Food and Agriculture Organization Irrigation and Drainage. 33, Rome.

Dorka, D. 2005: Két hőösszeg-számítási módszer vizsgálata kukoricatermesztésben. Agrártudományi Közlemények. 2005616. Különszám. 156-159.

Dunai S.- Posza I.- Varga-Haszonits Z. 1968: Egyszerű módszer a tényleges evapotranszpiráció és a talaj vízkészletének meghatározására. I. A párolgás meteorológiája. Öntözéses Gazdálkodás, VI. kötet, 2. szám, 39-48.

Dunai S.- Posza I.- Varga-Haszonits Z. 1969: Egyszerű módszer a tényleges evapotranszpiráció és a talaj vízkészletének meghatározására. II. Tényleges párolgás. Öntözéses Gazdálkodás, VII. kötet, 2. szám, 27-38. oldal.

Ellis, R.H., Roberts, E.H., Summerfield, R..J., Cooper, J. P. 1988: Environmental control of flowering in barley (*Hordeum vulgare* L.). II. Rate of development as a function of temperature and photoperiod and its modification by low-temperature vernalization. Ann. Bot. 62. 145-158.

Enzsölné Gerencsér E. 2007: A termikus meteorológiai elemek hatása az őszi árpa (*Hordeum vulgare* L.) fejlődésére. Acta Agronomica Óváriensis. 49, (2) 281-286.

Enzsölné Gerencsér E. 2009: Az őszi árpa termesztésének agroklimatológiai jellemzői hazánkban. Acta Agronomica Óváriensis. 51 (2). 9-20.

Enzsölné Gerencsér E., Lantos Zs., Varga-Haszonits Z., Varga Z. 2011: Determinationof winter barley yield by the aim of multiplicative successive approximation. Időjárás. Vol. 115. No. 3. 167-178. ***(IF: 0,364)***

FAOSTAT 2013: www.faostat.com (utolsó letöltés ideje: 2013. június 13).

Faris, M. A., Klink, H. R. 1982: Comparison between different methods of measuring synchrony of ear emergence in barley, oat and spring wheat cultivars. Z. Pflanzenzücht. 88. 79-88.

Ferenczy E. 1958: A magyar föld népeinek története a honfoglalás koráig. Gondolat, Budapest.

Fletcher, A. L., Jamieson, P. D. 2009: Causes of variation in the rate of increase of wheat harvest index. Field Crops Research (113) 268–273.

Foereid, B., Bro, R., Mogensen, VO., Porter, JR. 2002: Effects of windbreak strips of willow coppice-modelling and field experiment on barley in Denmark. Agric Ecosyst Environ. 93. 25–32.

Fukai, S., Koh, S., Kumura, A. 1976: Dry matter production and photosynthesis of *Hordeum vulgare* L. in the field. J. Appl. Ecol. 13. 977-888.

Fuqin, L., Guoliang, T. 1991: Research on Remote Sensing - Meteorological model for wheat yield estimation. 12th Asian Conference on Remote Sensing. Asian Association of Remote Sensing (AARS). Oct 30 - Nov. 5,. Singapore.

Goudriaan, J., van Laar, H. H. 1994: Modelling Potential Crop Growth Prosesses. Textbook with Exercises. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 236.

Grábner E. 1956: Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

Grahl, A., Thielebein, M. 1959: Einfluss von Licht auf die Keimung der Gerste. Die Naturwissenschaft 45. 336-337.

Gyulai, F. 2004: Az árpa virágzásbiológiája. In: Tomcsányi A.-Turcsányi G.: Az árpa. Akadémiai Kiadó, Budapest.

Haraszti Á. 1979: Növényszervezettan és növényélettan. Tankönyvkiadó, Budapest.

Hawkes, J. G. 1994: (1.) N. I. Vavilov- the man and his work. (2.) The histiry of corp genetic resources. (4.) Plant biodiversity conservation. A review of present methods and future needs. in: Szabó T. A. (ed.): Vavilov Lectures 1994. Bio Tár, Collecta Clusiana 4. 10-18, 28-39, 68-79.

Hellwig, Z. 1967: A statisztikai prognózis sémája a harmonikus súlyozások módszerével (magyar fordítás). Przeglad Statystyczny, 12. http://www.nki.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=174&Itemid=99&lang=hu

Horváth, Zs. 2004: Az árpa csírázása. In: Tomcsányi A.- Turcsányi G.: Az árpa. Akadémiai Kiadó, Budapest. 130-140.

Hulme, M., Conway, D., Jones, P. D., Jiang, T., Barrow, E. M., Turney, C. 1995: Construction of a 1961-90 European climatology for climate change impacts and modelling applications Int. J. Climatol., 15, 1333-1363.

Izsáki Z., Lázár L. 2004: Szántóföldi növények vetőmagtermesztése és kereskedelme. Mezőgazda Kiadó, Budapest.

Jamieson, P. D., Martin, R. J., Francis G. S., Wilson D. R. 1995: Drought effects on biomass production and radiation-use efficiency in barley. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 23. 55-66.

Jolánkai, M. 2005. A klímaváltozás hatása a növénytermesztésre. "AGRO-21" Füzetek."AGRO-21" Kutatási Programiroda, 41:47-58.

Jolánkai, M., Menyhért, Z., Széll, E. 1999: Fajtaérték a növénytermesztésben. In.: Növénytermesztés és környezetvédelem (Szerk.: Ruzsányi, L., Pepo, P.) MTA, Budapest.

Jolánkai, M., Szentpéteri, Zs., Szőllősi, G. 2003: Az évjárat hatása az őszi búza termésére és minőségére. “AGRO-21” Füzetek. “AGRO-21” Kutatási Programiroda, 31. 74-81.

Jones, G. 1983: Plants and Microclimate. Cambridge University Press, Cambridge.

Kajdi F. 1997: Az őszi árpa fajtákról. Növényvédelmi tanácsok, Mosonmagyaróvár, 6, 8, 16-17.

Kajdi F., Pécsi S. 1993: Az öntözés hatása az őszi- és tavaszi árpa fajták hozamaira. Acta Agronomica Óváriensis 35 (1), 51-64.

Karsai I. 2004: Az árpa virágzásbiológiája. In: Tomcsányi A.- Turcsányi G.: Az árpa. Akadémiai Kiadó, Budapest. 190-193.

Katz, R. W., Brown, B.G. 1992: Extreme events in a changing climate: variability is more important than averages. Climatic Change, 21: 289-302.

Kemanian, A. R., Stöckle, C. O., Huggins, D. R. 2004: Variability of Barley Radiation-Use Efficiency. Crop Sci. (44). 1662–1672.

Kernich, G. C., Halloran, G. M., Flood, R. G. 1995: Relative effects of photoperiod and irradiance on preanthesis development in spring barley (*Hordeum vulgare*) L.). Cereal Res. Comm. 23. 425-431.

Keteleer, A., Vanmechelen, B., Torback, P. 1988: The evolution of dry matter, soluble protein and sugar content during frost hardening in some barley and wheat varieties differing in hardening capacity. Arch. Int. Physiol. Biochem. 96. 1-17.

Khan, A. A., Laude, H. M. 1969: Influence of heat stress during seed maturation on germinability of barley seed at harvest. Crop Sci. 9. 55-66.

Kiniry, J. R. , Landivar, J. A. , Witt, M., Gerik, T. J., Cavero, J., Wade, L. J. 1998: Radiation-use efficiency response to vapor pressure deficit for maize and sorghum. Field Crops Research (56) 265–270.

Kirby, E. J. M. 1995: Factors affecting rate of leaf emergence in barley and wheat. Crop Science. 35. 11-19.

Kismányoky T. 1996: Árpa; in: Bocz E.(szerk.): Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 397-331.

Kismányoky T. 1997: Az árpa morfológiája, egyedfejlődése; in: Palágyi A. (szerk.): Az árpa, a rozs és a zab termesztése. A Gabonatermesztési Kutató Intézet és a Winter Fair közös kiadása, Szeged. 14-20.

Kolosova, L. D., Gorenshtein, N. M, Zheloznova, N. B. 1990: Ecological peculiaritiesof flowering in cultivated barley under condition of mid-mountainous Altay region. Izvestiya Sibirskogo Otdeleniya Academii Nauk SSSR. Ser. Biol. Nauk, 1. 3-10.

Krysanova, V., Wechsung, F., Becker, A., Posvhenrieder, W., Grafe, J. 1999: Mesoscale ecohydrological modelling to analyse regional effects of climate change. Environmental Modelling and Assessment. 4(4). 159-271.

Lakatos L., Karácsonyi Z., Racskó J., Zhong-Fu, S., Yingchun W. 2005: A légköri szárazság hatásának vizsgálata a különböző kertészeti és szántóföldi növényfajok termésmennyiségének változására, Agrártudományi Közlemények, 18. 40-45.

Lambert K., Tölgyesi L. 1993: Az éghajlati változékonyság hatása a vegetációs periódus meteorológia viszonyaira. OMSZ Hiv. Kiadv., 59. 42-58.

Láng I. 1980: A környezetvédelem nemzetközi körképe. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

Lantos ZS., Varga Z., Varga-Haszonits Z., ***Enzsölné Gerencsér E.*** *(2010):* Gazdasági növények sugárzáshasznosításának agroklimatológiai elemzése. „Klíma-21" Füzetek. 59., 66-73.

Larcher, W. 2003: Physiological Plant Ecology. Fourth Edition. Spriger Verlag, Berlin. 513.

Le Houérou, H. N. 1989:. Interannual variability in rainfall and its ecological and managerial consequences on natural vegetation, crops and livestock. In: Di Castri, F., Floret, Ch. & Roy, J. (Eds), Time Scale and Water Stress, Proceedings of the Vth International Conference on Mediterranean Ecosystem (MEDECOS V), 323–346. Paris: International Union of Biological Sciences. 678.

Leinhos, V., Bergmann, H. 1995: Changes in the yield, lignin content and protein patterns of barley (*Hordeum vulgare* cv. Alexis) induced by drought stress. Angew. Bot. 69. 206-210.

Linacre, E. 1992: Climate Data and Resources. Routledge, London, 366.

Lindquist, J. L., Arkebauer, T. J. , Walters, D. T. , Cassman, K. G. , Dobermann, A. 2005: Maize Radiation Use Efficiency under Optimal Growth Conditions. Agron. J. (97)72–78.

López, M.V., Arrúe, J. L. 1997: Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain. Soil & Tillage Research (44) 35-54.

Lőrinc J. 1984: A sörárpa termesztése. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

Mándy Gy. 1966: Őszi árpák csírázás-élettani vizsgálata. Botanikai Közlemények 53. 101-107.

Marmiroli, N., Lorenzoni, C., Cattiveli, L., Stanca, A.M., Terzi, V. 1989: Induction of heat shock proteins and acquistion of thermotolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.). Variations associated with growth habit and plant development. J. Plant Physioll. 135. 267-273.

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

McMaster, G. S, Smika D. E. 1988: Estimation and evaluation of winter eheat phenelogy in central Great Plains. Agricultural and Forest Meteorology. 43. 1-18.

Mearns, L. O. 2000: Climate Change and Variability. In: Climate Change and Global Crop Productivity, ed. By K. R. Reddy and H. F. Hodges, CABI Publishing, Wallingford, 7-35.

Mederski, H. J., Miller, M. E., Weaver, C. R. 1973: Accumulated Heat Units for Classifying Corn Hybrid Maturity. 25. 182-197.

Mészáros F. 1984: A sörárpa fontosabb élettani-biológiai tulajdonságai, a termést alakító tényezők; a sörárpa vetése; in: Lőrinc J. (szerk.): A sörárpa termesztése. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

Michael, G., Seiler-Kelbitsch, H. 1972: Cytokinin content and kernel size of barley grain as affected by environmental and genetic factors. Crop Sci. 12. 162-165.

Mirschel, W., Kretschmer, H. 1990: Vergleich existenter Ontogenesemodelle fur Winterweizen. Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenkd 34, 683–690.

Mirschel,W., Schultz, A., Wenkel, K. O. 2001: Assessing the impact of land use intensity and climate change on ontogenesis, biomass production, and yield of northeast German agro-landscapes. In: Tenhunen, J. D., Lenz, R., Hantschel, R. (Eds.), Ecosystem Approaches to Landscape Management in Central Europe. Ecol. Stud. 147. 299–313.

Mjelde, J. W. 1989: Climate indices for application in empirical crop production studies. Agricultural Systems, 30: 1-14.

Monteith, J. L. 1973: Principles of Environmental Physics. Edward Arnold, London, 241.

Moret, D., Arrúe, J. L., López, M.V., Gracia, R. 2007: Winter barley performance under different cropping and tillage systems in semiarid Aragon (NE Spain). European Journal of Agronomy, 26, 1. 54-63.

Nair, K. P. P, Khulre, N. C. 1990: Differential response of wheat and barley genotypes to substrate-induced salinity under North Indian conditions. Exp. Agricult. 26. 221-225.

Narwal, S. S., Poonia, S., Singh, G., Malik, D. S. 1986: Influence of sowing dates ont he growing degree days and phenology of winter maize (Zea mays L.) Agricultural and Forest Meteorology. 38. 47-57.

Nemes Cs. 1993: A kukorica terméseredménye és az aszály. Egyetemi doktori értekezés, ELTE TTK, Budapest, 3-54.

Palágyi A. 2002: Csupasz zab- és árpafajták a nemesítésben és a köztermesztésben. Növénytermelés. 51, 2:233-246.

Panofsky, H. A., Brier, G. W. 1963: Some Applications of Statistics to Meteorology. The Pennsylvania State University, Pennsylvania, 224.

Papp E., Szabó L. Gy., Walcz I. 1986: Vetőmag-ismereti zsebkönyv. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

Penman, H. L. 1971: Water as factor in productivity. In: Potential Crop Production, A Case Study. Ed. by P.F. Wareing and J. P. Cooper, Heinemann Educational Books, London, 89-99.

Penning de Vries 1962: System analysis and models of cropgrowth. In: Simulation of plant growth and crop roduction. F. W. T. Penning de Vries and H. H. van Laar (Eds). Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, 9-19.

Penning de Vries, F. W. T., van Laar, H. H. 1982: Simulation of growth process and the model BACROS. In: Simulation of plant growth and crop production. Eds.: F.W.T. Penning de Vries and H. H. van Laar, Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, 114-135.

Posza I. 1980: Konzervnövények evapotranspirációja. Beszámolók az 1978-ban végzett tudományos kutatásokról, OMSz Hivatalos Kiadványai XXXIX. Kötet, 226-231.

Posza I. 1984: Növényállományok evapotranszspirációja. Egyetemi doktori értekezés. Szarvas, 111.

Posza I., Stollár A. 1983: A tényleges párolgás számításához használt növénykonstansok értékei többévi mérés alapján. Időjárás, 88. 3. 170-177. oldal.

Rauber R. 1986: Einfluss der Temperatur auf die Keimung bei Wintergerste (*Hordeum vulgare* L.) während der Kornentwicklung und Nachreife Seed Sci. Technol. 14. 33-40.

Rauber, R., Isselstein, J. 1985: Untersuchhungen zur Wärme- und Wassersensibilität bei der Keimung frischgereiften Wintergerste (*Hordeum vulgare* L.). Angew. Bot. 59. 267-277.

Ravelo, A.C., W.L. Decker 1979: The probability distribution of soil moisture index. Agricultural Meteorology, 20. 301-312. oldal.

Richie , J.T., Nesmith, D.S. 1991: Temperature and crop development. In: Modelling plant and soil system. Ed: Hanks, J.; Richie , J.T.., American Society of Agronomy. Monograph. 31. Madison, Wisconsin, USA, 5-29.

Richie, J.T., Alagarswamy, G. 2002: Overview of Crop Models for Assessment of crop production. In: Effect of Climate Change and Variability on Agricultural production System. Eds.: O.C. Doering, III, J.C. Randolph, J. Southworth, R.A. Pfeifer.. Kluwer Academic Publishers, Boston, 43-68.

Rong-Hual, L, Pei-Pol, G., Baumz, M., Grando, S., Ceccarelli, S. 2006: Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. Agric Sci. China 5 (10). 751–757.

Russell, G. 1990: Barley knowledge base. Publication EUR 13040 EN of the Official Publicationsof the EC: Series 'An Agricultural Information System for the EC'. Luxembourg, 137.

Sági F. 2004: A generativ szakasz. In: Tomcsányi A., Turcsányi G.: Az árpa. *Hordeum* L. Akadémiai Kiadó Budapest. 155-182.

Sakamoto, C. M. 1981: Climate-crop regression yield model: an appraisal. In: Application of Remote Sensing to Agricultural Production Forecasting, ed. A. Berg, Rotterdam, 131-138.

Sanvicente, P., Lazarevitchb, S., Bloueta, A., Guckerta, A. 1999: Morphological and anatomical modifications in winter barley culm after late plant growth regulator treatmen. European Journal of Agronomy. 11 (1). 45-51.

Schmidt R., Varga-Haszonits Z., Varga Z., Buruczky F. 1996: Az őszi árpa (*Hordeum vulgare* L.) fejlődése és a meteorológiai tényezők közötti kapcsolat. Acta Agronomica Óváriensis. 38, 1-2. 1-21.

Scott, S. J., Jones, R. A., Williams, W. A 1984: Reveiw of data analyses methods for seed germinatin. Crop Science. 24. 1192-1199.

Sheremet, A. M. 1990: Breeding barley varieties with alternative habit for wide adaptation. Selektsiya yachmenia na povyshenie adaptivnosti s tsel'yu uvelicheniya i stabilizatsii urozhaya. Odessa. Ukraine. P. 103-104. (Silver Platter Adatbázis, Plant Gene CD, CAB International AN 921696320). In: Tomcsányi A. ; Turcsányi G.: Az árpa. *Hordeum* L. Akadémiai Kiadó, Budapest.

Simmons, S. R., Rasmusson, D. C., Wiersma, J. V. 1982: Tillering in barley: genotype, row spacing and seeding rate effects. Crop. Sci. 22. 801-805.

Simon M. 1993: A Pálfai-féle aszályossági index gyakorlati alkalmazhatósága. Acta Geografica Debrecina 1991-1992. XXX-XXXI, Debrecen, 283-307.

Soane, B.D., Ball, B.C. 1998: Review of management and conduct of long-term tillage studies with special reference to a 25-yr experiment on barley in Scotland. Soil Till. Res. 45, 17-37.

Strand, E. 1987: Causes of variation int the lenghts of growth periods and heat sum requirements of cereal cultivars. Norw. J. Agric. Sci. 1. 119-129.

Sun, J., Yang, L., Wang, Y., Ort, D. R. 2009: FACE-ing the global change: Opportunities for improvement in photosynthetic radiation use efficiency and crop yield. Plant Sci. (177). 511–522.

Supit, I., Wagner, W. 1999: Analysis of yield, sowing and flowering dates of barley of field survey results in Spain, Agricultural Systems, 59, 2, February 1999, 107-122.

Sváb J. (1981): Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági kiadó, Budapest.

Szabó T., Tóth R. 1989: Termést befolyásoló szignifikáns periódusok meghatározása meteorológiai tényezők alapján. Növénytermelés, 38 (1). 55-67.

Szakály J. 1968: A rozs és az őszi árpa kezdeti fejlődésének meteorológiai feltételei és a fejlődési szakaszok hőösszegei. Beszámolók az 1966-ban végzett tudományos kutatásokról, OMI Hivatalos Kiadványai, 31. 152-162.

Szalóky S. 1989: A növények vízigénye, vízhasznosítása és öntözővíz-szükséglete. Az öntözés gyakorlati kézikönyve. Szerk.: Szalai Gy. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 100-154.

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

Szász G. 1993: Az éghajlatváltozás szerepe a növénytermesztés stratégiájában. OMSZ Hiv. Kiadv., 59. 9-23.

Szász G. 1994: Szántóföldi növények szoláris energiahasznosítása Magyarországon. Növénytermelés, 43 (5). 403-416.

Szkazkin, Sz. D. 1979: A parasztság a középkori Nyugat-Európában. Gondolat, Budapest.

Takahashi, R., Yasuda, S. 1970: Genetics of earlines and growth habit in barley; Nilan, R.A. (ed.): Barleygenetics II. Proc. 2nd Int Genet Symp. Washington State Univ. Press, Washington, 388-408.

Thompson, L. M. 1962: Evaluation of weather factors in the production of wheat. Journal of Soil and Water Conservation, July-August, 218-230.

Thompson, L. M. 1969: Weather and technology in the production of wheat in the United States. Journal of Soil and Water Conservation. 24. 219-224.

Thompson, L. M. 1975: Weather Variability, Climatic Change, and Grain Production. Science, 188. 535-541.

Thompson, L. M. 1986: Climatic Change, Weather Variability, and Corn Production. Agronomy J. 73. 649-653.

Tomcsányi A. 1998: Sörárpa agrotechnikai elvek - árnyaltan. Agrofórum 9/3. 17-19.

Tomcsányi A. 2003: Az őszi árpák télállósága és a vetésidejük közti kapcsolat. Agrofórum, 14, 9. 29-30.

Tomcsányi A. 2004: Az árpa fejlődésének fenológiai fázisai. In: Tomcsányi A., Turcsányi G.: Az árpa. *Hordeum* L. Akadémiai Kiadó Budapest. 183-188.

Tomcsányi A., Kismányoki T. 1995: Árpatermesztési ismeretek. Regiocon Kiadó. Miskolc.

Tomcsányi A., Turcsányi G. 2004: Az árpa. *Hordeum* L. Akadémiai Kiadó. Budapest.

TormaA. 1996: Archaeobotanikai maradványok a középkorból. Agrártörténeti Szemle 38. 317-342.

Unger, P. W. 1994: Residue management for winter wheat and grain sorghum production with limited irrigation. Soil Sci. Soc. Am. J. 58. 537-542.

Uspenskaya, V. A. 1988: Use of photoperiod responsein breeding for earliness in spring barley. Ispol'zovanie iskusstvennogo klimata v selektsii sel'skokhozyaistvennykh kul'tur. Leningrad, USSR. 39-44. (Silver Platter Adarbázis, Plant Gene CD, CAB International AN 901696145). In: Tomcsányi A.; Turcsányi G.: Az árpa. *Hordeum* L. Akadémiai Kiadó. Budapest. 2004.

van Keulen, H., Seligman, N. G.1987: Simulation of water use, nitrogen nutrition and growth of a spring wheat crop. Simulation Monographs, Produc, Wageningen, 310.

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. – Lantos Zs. – ***Enzsölné Gerencsér E.*** *– Milics G. 2010a:* Effect of soil watet supply ont he water demand of crops. AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN 60 (Különszám), 75.

Varga-Haszonits Z. 1971: Effect of sunshine and temperature on the development of the winter wheat variety Bánkúti 1201. Acta Agronomica, 3-4. 132-136.

Varga-Haszonits Z. 1974: Őszi árpa. In: Agroklimatológia és növénytermesztés. Szerk.: Botos L. és Varga-Haszonits Z. OMSz Nyomda, Budapest, 24-27.

Varga-Haszonits Z. 1981: A gazdasági növények terméshozamának éghajlati potenciálja. MTA X. Osztályának Közleményei, 14, 2-4. 253-270.

Varga-Haszonits Z. 1986: A multiplikatív időjárás-termés modellek elvi módszertani alapjai. Beszámolók az 1983-ben végzett tudományos kutatásokról. OMSZ, Budapest. 155-164.

Varga-Haszonits Z. 1987a: Agrometeorológiai információk és hasznosításuk. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

Varga-Haszonits Z. 1987b: Az őszi búza terméshozama és az időjárás közötti kapcsolat meghatározása szakaszosan közelítő multiplikatív modellel. Beszámolók az 1985-ben végzett tudományos kutatásokról. OMSZ, Budapest. 184-196.

Varga-Haszonits Z. 1989: A vegetációs periódus alatti vízellátottság mértékének éghajlati jellemzői. In: Hanyecz V. (szerk.): Aszály. Öntözési Kut. Int., Szarvas, 28-41.

Varga-Haszonits Z. 1991: Az őszi búza vízellátottsága és vízfogyasztása. Beszámolók az 1987-ben végzett tudományos kutatásokról, OMSz, Budapest, 103-117.

Varga-Haszonits Z. 1992: Komplex agroklimatológiai modell az őszi búza produktivitásának jellemzésére. MTA Doktori értekezés. Budapest, 96.

Varga-Haszonits Z., Tölgyesi L. 1990: A globálsugárzás és a fotoszintetikusan aktív sugárzás számítása rövid időszakokra. Beszámolók az 1986-ban végzett tudományos kutatásokról, OMSz, Budapest, 109-132.

Varga-Haszonits Z., Tölgyesi L. 1992: A potenciális párolgás meghatározása. Beszámolók 1987-ben végzett tudományos kutatásokról, OMSz, Budapest, 92-102.

Varga-Haszonits Z., Varga Z., Lantos Zs., ***Enzsölné Gerencsér E.*** *2005c:* Az 1951-2000 közötti időszak szélsőséges nedvességi értékeinek agroklimatológiai elemzése. „Agro-21" Füzetek. 46, 26-37.

Varga-Haszonits Z., Varga Z., ***Enzsölné Gerencsér E.,*** *Lantos Zs. 2010b:* Estimation of winter barley yield by means of a multiplicative successive procedure based on the residual method. Acta Agronomica Óváriensis. 52 (2), 9-18.

Varga-Haszonits Z., Varga Z., Lantos Zs. 2004: Az éghajlati változékonyság és az extrém jelenségek agroklimatológiai elemzése. Monocopy Kft., Mosonmagyaróvár

Varga-Haszonits Z., Varga Z., Lantos Zs., ***Enzsölné Gerencsér E.*** *2005a:* Az éghajlatingadozás hatása a vegetációs periódusra. Acta Agronomica Óváriensis. 47 (2), 3-20.

Varga-Haszonits Z., Varga Z., Lantos Zs., ***Enzsölné Gerencsér E.*** *2005b:* Az 1951-2000 közötti időszak hőmérsékleti minimum értékeinek agroklimatológiai elemzése. „Agro-21" Füzetek. 40, 94-105.

Varga-Haszonits Z., Varga Z., Lantos Zs., ***Enzsölné Gerencsér E.*** *2006a:* Az éghajlati változékonyság és az agroökoszisztémák. Monocopy Kft., Mosonmagyaróvár, 410.

Varga-Haszonits Z., Varga Z., Lantos Zs., ***Enzsölné Gerencsér E.*** *2006b:* Az 1951-2000 közötti időszak hőmérsékleti maximum értékeinek agroklimatológiai elemzése. „Agro-21" Füzetek. 47:55-69.

Varga-Haszonits Z., Varga Z., Lantos Zs., ***Enzsölné Gerencsér E.,*** *Milics G. 2008*: A talajok vízellátottságának hatása a gazdasági növények vízigényének alakulására. Agrokémia és Talajtan. 57 (1), 7-20.

Varga-Haszonits Z., Varga Z., Lantos Zs., Schmidt R., Vámos O. 1999*:* A fontosabb gazdasági növények sugárzáshasznosítása Magyarországon. Növénytermelés, 48, 2. 189-197.

Varga-Haszonits Z., Varga Z., Lantos Zs., Vámos O., Schmidt R. 2000: Magyarország éghajlati erőforrásainak agroklimatológiai elemzése. Monográfia. LÓRIPRINT, Mosonmagyaróvár.

Varga-Haszonits Z.; ***Enzsölné Gerencsér E.;*** *Lantos Zs.; Varga Z. 2011*: Water demand and water use efficiency of winter barley in Hungary. Acta Agronomica Hungarica. 59 (1). 59 (1). 13-22.

Villar, J. M. 1989: Evapotranspiración y productividad del agua en cebada (*Hordeum vulgare* L.) y triticale (×*Triticosecale* Wittmart) en condiciones de secano en la Segarra (Lleida). UPC, ETSEAL, Lleida, Spain.

Volk, T., Budgee, B. 1991: Modelling Light and Temperature Effects on Leaf Emergence in Wheat and Barley. Crop Sci. 31:1218-1224.

Wang, E., Engel, T. 1998: Simulation of Phenological Development of Wheat Crops. Agricultural Systems. 58. 1-24.

Wang, E., Engel, T. 2000: SPASS: A generic process-oriented crop model with versatile windows interface. Environmental Modeling and Software. 15. 179-188.

Warrington, I. J, Kanemasu, E. T. (1983a): Corn growth respose to temperature and photoperiod. I. Seedling emergence, tassel initiation and anthesis. agronomy Journal. 75. 749-754.

Warrington, I. J, Kanemasu, E. T. (1983b): Corn growth respose to temperature and photoperiod. II. Leaf-initiation and leaf-appearance rates. Agronomy Journal. 75. 755-761.

Weingartner F. 1968: Különböző felszínek és növényállományok albedója. Beszámolók az 1967-ben végzett tudományos kutatásokról. OMI Hivatalos Kiadványai, 34. 431-437.

Wellington, P. S. 1956: Effect of desiccation on the dormancy of barley. Nature (London) 178. 601.

Wiese, A. M., Binning L. K. 1987: Calculating the threshold temperature of development for weeds. Weed Science. 35. 177-179.

Willerding, U. 1983: Zum ältesten Ackerbau in Niedersachen; in: Wegner, G. (ed.): Frühe Bauernkultur in Niedersachsen. Archäologische Mitteilungen aus Nordwestdeutschland, Oldenburg. Beiheft 1.. 179-219.

Williams, J. R., Jones, C. A., Kiniry, J. R., Spanel, D. A. 1989: The EPIC Crop Growth Model. Transaction of the ASAE, 32 (2): 497-511.

Zohary, D., Hopf, M. 2000: Domestication of plants in the Old World. The origin and pread of cultivated plants in West-Asia, Europe and in the Nile Valley. 3d ed. Oxford University Press, Oxford.

10.13147/NYME.2013.018

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm Dr. Varga-Haszonits Zoltán professzor Úrnak, hogy bizalmat adott nekem, amikor ismeretlenül befogadott a kutatócsoportjába, bevezetett a tudományos kutatómunka minden egyes fázisába a problémafelvetéstől kezdve egészen a publikálásig, témavezetőmként felkeltette és táplálta érdeklődésemet az agrometeorológia iránt, folyamatos támogatást nyújtott, munkám elvégzéséhez ötletekkel és tanácsokkal látott el.

Köszönöm Dr. Varga Zoltán docens Úrnak, akihez minden nap fordulhattam kérdéseimmel, fáradhatatlanul javította, korrigálta munkámat, folyamatosan terelgette utamat, és aki elmondhatatlanul sokat segített az egész munka során. Mindkettőjüknek köszönöm felbecsülhetetlen segítségét és támogatását, amely nemcsak a szakmai kérdésekre, hanem minden létező problémámra kiterjedt.

A jelen doktori értekezés alapját képező eredmények csak a kutatócsoportban dolgozó kollégáim, Dr. Lantos Zsuzsanna és Dr. Milics Gábor docensek segítsége, támogatása révén jöhettek létre. Köszönet érte.

Köszönöm Dr. Dóka Ottó professzor Úrnak, intézetigazgatómnak, aki türelemmel megvárta, amíg felülemelkedek a felmerült nehézségeken, mindemellett az intézetben megteremtette a munkám számára elengedhetetlen hátteret.

Köszönetet mondok Dr. Reisinger Péter professzor Úrnak, a doktori iskola programvezetőjének a rendelkezésemre bocsátott számítógépért, amellyel lehetővé vált számomra a modellalkotáshoz szükséges bonyolultabb programozási feladatok elvégezése is.

Köszönettel tartozom Dr. Neményi Miklós akadémikus Úrnak, a doktori iskola vezetőjének, aki figyelemmel kísérte kutatómunkámat, emberileg támogatott és bíztatott.