



Az őszi búza termesztetőségi feltételei az éghajlatváltozás függvényében

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Erdélyi Éva

Témavezető:

Dr. Harnos Zsolt, MHAS, egyetemi tanár

BCE, Kertészettudományi Kar, Matematika és Informatika Tanszék

Szakmai konzulens:

Dr. Ladányi Márta, PhD, egyetemi adjunktus

BCE, Kertészettudományi Kar, Matematika és Informatika Tanszék

A doktori iskola

megnevezése: Tájépítészeti és Döntéstámogató Rendszerek
(4.6. Interdiszciplináris Agrártudományok)

tudományága: 4.1.Növénytermesztési és kertészeti tudományok

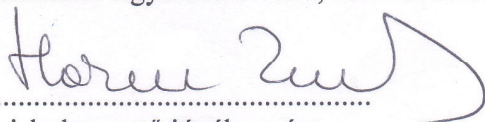
vezetője: Harnos Zsolt, MHAS
tanszékvezető egyetemi tanár
Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar
Matematika és Informatika Tanszék

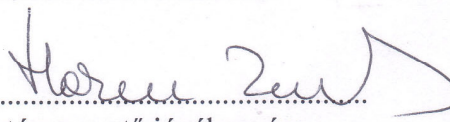
Témavezető: Harnos Zsolt, MHAS
tanszékvezető egyetemi tanár
Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar
Matematika és Informatika Tanszék

Szakmai konzulens:

Dr. Ladányi Márta, PhD, egyetemi adjunktus
Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar
Matematika és Informatika Tanszék

A jelölt a Budapesti Corvinus Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, az értekezés műhelyvitájában elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, ezért az értekezés nyilvános vitára bocsátható.

.....

Az iskolavezető jóváhagyása

.....

A témavezető jóváhagyása

BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

Napjainkban egyre több szó esik a klímaváltozásról és ma már elfogadhatatlan, hogy tényét elutasítsuk. Az éghajlatváltozást sokan azonosítják a globális felmelegedéssel, holott a felmelegedés mellett az extrém időjárási jelenségek gyakoriságának a növekedése hasonlóan súlyos következményekkel járhat. Az élhető Föld fenntartásához szükséges környezettudatos szemlélet kialakításában meghatározó szerepet játszik az éghajlatváltozással, annak következményeivel és a lehetséges alkalmazkodással kapcsolatos széleskörű ismeretek megszerzése és a tájékoztatás. Egy terület klímájának megváltozása és annak hatásai alapvetően érintik a növénytermesztést. A növények valószínűsíthető reakciója a várható változásokra, a termés hozamok jövőbeni alakulásának becslése, fejlődési folyamatuk elemzése mind-mind egy-egy láncszem a kutatás folyamatában, amely végül alkalmazkodó stratégiák kidolgozását segítheti elő a gazdálkodók és a döntéshozók számára egyaránt.

Munkánk során egyik legfontosabb hazai szántóföldi növényünket, az őszi búzát vizsgáltuk. A kutatás célja a klímahatások megismerése és a lehetséges további változások következtében várható hatások feltérképezése statisztikai összehasonlító vizsgálatok segítségével, valamint egy növény-növekedési modell alkalmazása a változások hatásának szimulálására. A modellezési munka során a magyar kutatók eredményeit felhasználva és a hazai viszonyokra adaptált Magyar Mezőgazdasági Modellezők Műhelyének 4M modellrendszerét használtuk.

Célkitűzéseink között szerepelt:

- annak vizsgálata, hogy a búza terméskockázata az 1951-90-es időszakban hogyan alakult, továbbá hogy az 1990 utáni időszakban a kockázat növekedett-e, illetve a kockázattövekedés üteme hogyan változott az előző időszakhoz képest;
- statisztikai elemzések végzése az őszi búza klimatikus igényeire és a fejlődése szempontjából extrém jelenségek gyakoriságára vonatkozóan múltbeli megfigyelések és a közeljövőre vonatkozó, nemzetközileg leginkább elfogadott különböző klímaváltozási scenáriók összehasonlításával;
- a 4M szimulációs modell használatával annak vizsgálata, hogy ugyanezen klímaváltozási scenáriók esetén milyen változások következhetnek be az őszi búza fejlődési szakaszainak hosszában, illetve e célból elősegíteni a 4M növény-növekedési modell alkalmazásának búzára történő kiterjesztését, hogy ezáltal lehetővé váljon a hazai klímaváltozással kapcsolatos további kutatások hatékony eszközeként történő alkalmazása;
- szimulációs kísérletek végzése a búza szemtermés mennyiségének alakulására az éghajlatváltozási scenáriók alkalmazásával;
- összehasonlító vizsgálat végzése a búza szemtermésének alakulására különböző vetési időpontok esetén a klímaváltozáshoz való egy lehetséges alkalmazkodási mód megtalálásának érdekében.

Eredményeinket olyan formában kívánjuk bemutatni, hogy azok közvetlen és közvetett alkalmazási lehetőségei körvonalazódjanak. A klímaváltozással együtt élve a magyar agrárkutatóknak és szakembereknek is jól működő leíró-előrejelző rendszereket kell alkotniuk. Elő kell készíteni a megváltozott körülményekre való optimális felkészülési és válaszadási stratégiákat. Meggyőződésünk, hogy Magyarországon is rendkívül nagy szükség van arra, hogy a különböző diszciplínákban kutató szakemberek intenzív összefogással megteremtsék a fenntartható mezőgazdaság jövőbeni új lehetőségeit. Munkánkkal az ilyen jellegű együttműködést is segíteni kívántuk.

ANYAG ÉS MÓDSZEREK

Az őszi búza éghajlatigénye és fejlődési szakaszai

Az éghajlati tényezők jelentősége meghatározó a búza termés hozamában, a termésingadozásokat is rendszerint klimatikus tényező, főleg a csapadékhiány okozza. A klímaváltozás nemcsak a napi átlaghőmérséklet emelkedésével járhat, hanem az extrém hőmérséklet gyakoriságának növekedésével is, ami az egyes fejlődési szakaszokban fontos szerepet játszhat. Megfigyelt meteorológiai változóból olyan indikátorokat képezhetünk, melyek vélhetően döntően befolyásolják az egyes növények fejlődését. A szezonális trendektől való eltérések statisztikus módszerekkel elemezhetők. Az extrém értékekhez tartozó adatokat leválogatjuk annak kiderítésére, hogy mely meteorológiai paraméterek befolyásolják a növény fejlődésének menetét és termés hozamát.

Mivel az éghajlatváltozási scenáriók nem azonos időszakokra vonatkoznak, független évekre generáltak és a tranziens modellek sem alkotnak idősort, ezért az eredményeket az elsőfokú sztochasztikus dominancia-kritériumot felhasználva eloszlásfüggvények segítségével mutatjuk be.

A növény növekedése során különböző fejlődési szakaszokon megy keresztül, melyek hosszát és bekövetkezésének időpontját lényegesen módosíthatják az időjárási körülmények. Mivel a szakaszok lefolyásának döntő hatása van a termés hozamra, fontos, hogy az egész tenyésztési folyamán figyelemmel kísérjük és agrotechnikai kontrollal a lehetőségekhez mérten csökkentjük az időjárás kedvezőtlen hatását.

Az őszi búza fejlődésének folyamatát Varga-Haszonits Zoltán fenofázis-beosztása és a fejlődési szakaszok hőmérsékleti küszöbértékei, illetve klimatikus igénye alapján vizsgáljuk a klímaváltozási scenáriók Debrecenre leskálázott becslött értékei és a bázisidőszakuk (1961-90) historikus meteorológiai adatainak összehasonlításával. A következőkben röviden összefoglaljuk az őszi búza klimatikus igényeit a *vetés-keelés*, a *szárbaindulás-kalászás* és a *kalászás-viaszérés* fejlődési szakaszokon keresztül végig haladva.

Az őszi búza vetés idejét úgy választják meg, hogy a növények a téli fagyokig megerősödjenek, jól teleljenek, és tavasszal gyorsan fejlődjenek. A búza jelenlegi optimális vetés ideje október közepe. A szárbaindulás-kalászás időszakban, mely kb. április első dekádjától május második dekádjáig tart, az őszi búza igen érzékeny a hőmérsékletre: ekkor egyfokos hőmérséklet-változásra néhány napos fáziseltolódással is reagálhat a növény. Ekkor játszódik le a növény növekedése, ezért a hidrikus faktorok szerepe is meghatározó lehet. A kalászás-viaszérés fejlődési szakaszban a termikus faktorokat képviselő hőmérséklet szerepe a legjelentősebb, az átlaghőmérséklet nagyfokú emelkedése a termés hozam csökkenését vonhatja maga után. A virágszerveknek a magas hőmérsékletre és a rossz vízellátásra bekövetkező részleges elhalása miatt a hozam jelentős mértékben csökkenhet.

A vizsgálat helyszínének klimatikus körülményei

A terméskockázatra irányuló vizsgálatunkat az ország négy egymástól távol lévő, időjárás szempontjából eltérő területén végeztük: Győr-Moson-Sopron megye nyugati csapadékosabb terület, Bács-Kiskun és Fejér megye az ország középső részét jól jellemzi, míg Hajdú-Bihar megye képviselheti a melegebb és szárazabb kelet-magyarországi mezőgazdasági területeket.

Munkánkban a hatások elemzését Debrecen példáján keresztül mutatjuk be a Debrecenre leskálázott, különböző klímascenáriókkal becslött értékek elemzésével, illetve azoknak a

bázisidőszakban (1961-90) tapasztalt értékekkel való összehasonlításával. Esettanulmányunk helyszínén kisebb-nagyobb mértékben minden vizsgált klímaszcenárió éves szinten hőmérséklet-növekedést prognosztizál, a csapadékösszegek kismértékű csökkenést mutatnak, de ingadozásuk mértéke nagyon jelentős.

A felhasznált adatok, illetve azok kezelése szoftverek segítségével

A felhasznált időjárási adatok

Az éghajlat várható jövőbeli alakulása éghajlatváltozási forgatókönyvek, illetve szcenáriócsaládok és klímamodellek (szcenáriók) segítségével adható meg. Munkánk során az A2 forgatókönyvre támaszkodunk, amely a folyamatosan növekvő népesség mellett divergens regionális gazdasági fejlődést feltételezve lassú és területileg nem egyenletes technológiai fejlődéssel írják le a jövőt figyelembe véve a helyi viszonyokat. A továbbiakban klímaszcenárió alatt a klímamodellek konkrét futtatási eredményeit értjük. A Hadley Intézet (Anglia) és a Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL, USA) által készített globális klímaváltozási modelleket, az ún. GCM-eket alkalmaztuk, így következtetéseinket több klímamodell Debrecenre történt leskálázásának alapján vontuk le.

A UK Met Office Hadley Centre által készített GCM-ek közül egyrészt az UKLO (durvább felbontású) és az UKHI (finomabb felbontású) ún. egyensúlyi klímaszcenáriókat használtuk, melyek becslése megkétszereződött légköri széndioxid-koncentrációval történt az egyensúly beállta után, másrészt ezek tranzienst, a 2031-40-es időszakra generált ún. UKTR továbbfejlesztését. Az UKTR évenkénti 1%-os széndioxid-szint-növekedést feltételezve vizsgálja a változó klímát, a szimulált évek időrendben egymást követőnek tekinthetők.

A Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (USA) által készített óceán-levegő modellek közül a GFDL2534 (a 2025-2034 közötti éveket jellemző) és a GFDL5564 (a 2055-2064 közötti éveket jellemző) klímaadatbázisokat használtuk. A GFDL szcenáriók figyelembe veszik az üvegházhatású gázok kibocsátásának várható mennyiségét, illetőleg a légköri széndioxid koncentrációjának mértékét, melyet évenkénti 1%-os növekedéssel becsülnek.

Az összehasonlításokat az ezek alapjául szolgáló, az UKTR szcenárióhoz tartozó, illetve az 1961-90-es éveknél megfelelő feltételekkel szimulált ún. BASE szcenárió adataival végezzük. Ezeknek a klímaszcenárióknak a referenciaidőszaka egységesen az 1961-1990-ig tartó 30 éves időintervallum, ezért az összehasonlításokhoz a Debrecenben ekkor mért ún. historikus meteorológiai adatokat is felhasználtuk, melyek az Országos Meteorológiai Szolgálat adatbázisából származnak.

A KKT Klímakutatás adatbázis-kezelő szoftver és a termésátlag adatsorok

A KKT (Környezet Kockázat Társadalom) adatbázis és a hozzá kapcsolódó lekérdező programrendszer lehetővé teszi a központi adatbázis felhasználóbarát áttekintését, az adatszűrés és leválogatás speciális szempontok szerinti végrehajtását, illetve számos statisztikai elemzés elvégzését. E program segítségével vizsgáltuk a fenofázisok hosszát meghatározó alsó és felső hőmérsékleti határoknak, illetve a fejlődési szakaszonkénti komplex klimatikus igényeknek megfelelő napok előfordulási gyakoriságát.

A búza termésátlag adatsorai, melyeket a terméskockázat vizsgálatához is felhasználtunk, a Központi Statisztikai Hivatal Mezőgazdasági Főosztályától származnak és a szoftver adatbázisában meggyéknként 1922-től 2005-ig állnak rendelkezésre, de hiányoznak a háborús évekre vonatkozó adatok.

A ROPstat programcsomag

Az eredmények statisztikai kiértékelésére a ROPstat programcsomagot használtuk. Az összehasonlításokat 95%-os szignifikancia szinten végeztük.

A felhasznált módszerek

A terméskockázat vizsgálata egy új sztochasztikus hatásossági módszerrel

A rendelkezésünkre álló megyei őszi búza terméseredmény adatokat nemlineáris regresszióval illesztettük. Ezután a *Phillips* - módszerrel, *MS Excel*® programmal tettük azokat összehasonlíthatóvá. Ehhez szakértői becslések alapján a háromszög-eloszlás módszerével kiszámoltuk a termés szubjektív várható értékét és szórását (E_s , D_s). Az ötvenöt éves adatsorra illesztett regresszió ε_i reziduumaival és a regressziós tartomány jobboldali végpontjához tartozó $f(x_{akt})$ regressziós függvényértékkel meghatároztuk az $y_i^{korr} = f(x_{akt}) + \varepsilon_i$ ún. korrigált terméseredmény-értékeket. Ezután szakértők bevonásával súlyozhatók a kapott y_i^{korr} értékek a p_i súlyokkal, mégpedig oly módon, hogy becsüljük annak a valószínűségét, hogy az általunk vizsgált év milyen valószínűséggel fog körülményeiben megegyezni az i indexű évvel. (Nyilván $\sum_i p_i = 1$.) Munkánkban azonos súlyokat használva kiszámítottuk az E_t várható értéket és a D_t szórást, majd az y_i^{korr} korrigált adatokat, illetve a szubjektív várható értéket és szórást felhasználva meghatároztuk az aktualizált adatokat:

$$Y_i = E_s + \frac{y_i^{korr} - E_t}{D_t} \cdot D_s$$

Nyilván $E(Y_i) = E_s$ és $D(Y_i) = D_s$.

Mivel munkánk során a személyes kockázati averziót nem állt módunkban megismerni, az általánosan elterjedt $U : w \mapsto U(w) = 1 - \exp(-cw)$ negatív exponenciális hasznossági függvényt használtuk, melynek legfontosabb jellemzője, hogy a hozzá tartozó abszolút kockázati averzió nagysága állandó ($r_a(w) = c$), míg a relatív kockázati averzió a rendelkezésre álló tőkétől lineárisan függ ($r_r(w) = cw$).

A hatásossági kritériumok közül a szubjektív eloszlásfüggvényekre épülő sztochasztikus dominancia, az E, V - hatásossági és a hasznossági függvényen alapuló kritériumokat használtuk, de az ezekből kapott eredményekkel nem elégedtünk meg. A kockázat mértékének növekedését végül az általánosított sztochasztikus dominancia-módszer egy közelmúltban egyszerűsített változatával, a kockázati averziótól is függő sztochasztikus hatásossági kritérium segítségével igazoltuk.

Modellezés a 4M szimulációs növénynövekedési modell alkalmazásával

Az időjárás befolyásolja a növények egyedfejlődését, továbbá a szemtermés és a biomassza mennyiségét is. A modellek és a modellezés fontos szerepet játszanak a tudományos megismerés folyamatában, hiszen segítségükkel olyan kérdésekre kaphatunk választ, amelyeket egyébként csak drága, időigényes, esetleg kivitelezhetetlen kísérletek, illetve megfigyelések árán lenne lehetséges megválaszolni. Természetesen a szimulációs vizsgálatok nem helyettesítik, csak

kiegészítik a fitotronos és szántóföldi kísérleteket. A modellezéssel kapott eredmények alapján ötlet fogalmazódhat meg a kísérletek beállítására, mellyel időt, eszközt és költséget takaríthatunk meg. A kísérletek pedig nagyon fontosak a modellek beállításához, teszteléséhez, a folyamatok leírásának pontosításához. A szimulációs kísérletek eredményei jól használhatók a klímaváltozás lehetséges hatásainak feltérképezésében, segíthetik a várható hatásokra való felkészülést, az alkalmazkodási stratégiák és kárcsökkentő akciótervek kidolgozását.

Munkánkban a CERES (Crop Estimation through Resource and Environment Synthesis) modell alapján, magyar kutatók által, magyarországi viszonyokra fejlesztett és talajtani adatokat is tartalmazó 4M (Magyar Mezőgazdasági Modellezők Műhelye kezdőbetűiről elnevezett) szimulációs modellrendszert használtuk. Segítségével leírható a növények fejlődése, a levélfelület nagysága, a gyökerezési mélység a rétegenkénti gyökérsűrűséggel, a biomassza növekedése, a víz mozgása a talajban, az evapotranspiráció, a nitrogén alakulása és mozgása a talajban, a növény nitrogénfelvétele és eloszlása stb. A modell napi léptékű inputtal számol, az eredmények napi bontásban kérdezhetők le. Egyik legfontosabb előnye, hogy ingyenes és könnyen elérhető. Célkitűzéseink között szerepelt elősegíteni ennek az – első lépésben a kukorica növényre kifejlesztett – növény-növekedési modellnek az őszi búzára történő, hazánkban elsőként való alkalmazását. A modell fejlesztője, Fodor Nándor biztosította ehhez a folyamatos kommunikáció és tapasztalatcsere lehetőségét, s ezzel párhuzamosan a 4M folyamatos fejlesztést és bővítést.

Az időjárási paraméterek helyett a klímaszcenáriókban megadott meteorológiai adatokkal a modell kiválóan alkalmas a klímaváltozás hatásvizsgálataira. A dolgozatban a fenológiai fejlődés nyomonkövetésére és ezzel párhuzamosan a hozamok elemzésére alkalmaztuk a szimulációs módszert. A fejlődési szakaszokat a 4M program beosztása szerint különböztettük meg és számoltuk be. Hatásvizsgálatunk során időjárási inputként az UKTR3140 klímaszcenáriót használtuk. Az összehasonlító elemzést az 1961-1990-es időintervallum Debrecenben megfigyelt időjárási adataival végeztük. A helyre jellemző réti csernozjom talaj paramétereit állítottuk be, búza-kukorica-búza-... vetésforgóval, évenkénti váltásban az Mv-Irma és a Dekalb 471 fajtákkal. A hazánkban termesztett őszi búzával és kukoricával kapcsolatos általános tapasztalatokat vettük figyelembe, a szokásos időpontokat megjelölve: őszi búzára a műtrágyázást vetés előtt és tavasszal végeztük, kukoricára pedig ősszel és tavasszal vetés előtt, őszi búzára a vetési időpontot október 20-ra, kukoricára pedig április 25-re állítottuk be.

Az eredményekből az MS Excel program segítségével ábrákat készítettünk, valamint a kapott eredményeket különböző statisztikai módszerek felhasználásával ki is értékeltük.

EREDMÉNYEK

Munkánk első lépésében az őszi búza terméseredményei alapján vizsgáltuk a terméskockázatot, majd később a növény klimatikus igényeinek alakulását és annak hatását elemeztük a fejlődése szempontjából legfontosabb időszakokra.

Kockázatelemzés

Először a négy vizsgált megye adatai alapján megvizsgáltuk, hogy az őszi búza terméseredményei mutatnak-e, és ha igen, milyen változást az idő múlásával. Az 1951-2005-ig tartó időszakot öt időintervallumra bontottuk fel úgy, hogy négyszer húsz éves, tíz évet egymásba csúsztató szakaszokat vizsgáltunk (1951-70, 1961-80, 1971-90, 1981-2000), valamint egy ötödik

húszéves szakaszt, amely a legutolsó néhány év hiánya miatt jobban belecsúszik az előtte lévőbe (1986-2005).

Az adatok elemzéséhez először a trendhatások megtisztítására volt szükség, amit a Phillips által kidolgozott módszerrel és az MS Excel programmal végeztünk el. Mivel a korrigálás/aktualizálás lényege, hogy összehasonlíthatóvá tegyük az adatokat, ezért a megfigyelt növekvő mértékű szóródás már egyértelműen a termésbiztonság csökkenését, és ezzel együtt a termés kockázatának növekedését sejteti. Az aktualizált adatok alapján elmondható, hogy az őszi búza termesztése során a hozam változékonysága, illetve a termésnövekedés mind a négy vizsgált megyében súlyos volt. Ez alapján tehát a termés bizonytalansága a búza termesztésében feltehetően növekedett. A *szubjektív eloszlásfüggvényeken* alapuló módszer eredményeképpen elmondható, hogy a búza termesztésénél az egyértelmű kockázatnövekedés mind a négy vizsgált megyében megfigyelhető, de teljes rendezés a vizsgált időintervallumokra ezzel a módszerrel nem létesíthető. Ezután a várható értéket a variancia függvényében leíró, ún. *E,V-hatásossági kritérium* alapján vizsgáltuk a terméskockázatot, és azt tapasztaltuk, hogy mind a négy vizsgált megye esetében elkülönül az első három időintervallumhoz tartozó érték a két utolsó időintervallumhoz tartozótól. Mindazonáltal az E,V-hatásosságon alapuló rendezés sem egyértelmű a három régebbi időszak között és az azoktól elkülönülő két közelebbi időszakra. A sorrend felállításához az általánosabb, *sztochasztikus hatásossági kritériumot* használtuk. A *CE* bizonyossági ellenérték alapján, mely már a kockázatvállalási hajlandóságtól is függ, azt tapasztaltuk, hogy a kockázat szempontjából az idő múlása egyre kedvezőtlenebb helyzetet teremtett, azaz a kockázat nagy mértékben megnövekedett mind a négy vizsgált megye esetében, és e tény a döntéshozónak a kockázatvállalási hajlandóságának mértékétől függetlenül is igaz.

Az őszi búza klimatikus igényeinek vizsgálata a fejlődési szakaszai során

Az őszi búza hőigénye a tenyészidő folyamán eltérő mértékű. Munkánkban a fejlődési szakaszokra külön-külön vizsgáltuk a meteorológiai paraméterekre vonatkozó feltételeket és azok teljesülését.

A *vetés-kelés* időszakban a vizsgált jövőbeni időszak előrejelzett napi átlaghőmérsékleteinek növekedése a historikus adatokéhoz képest igen jelentős, de a növény igényei várhatóan a jövőben is teljesülnek. A víz- és tápanyagigény is teljesülni látszik, bár kismértékű csapadékcsökkenéssel számolnunk kell ebben a fejlődési szakaszban. A bizonytalanság azonban a nagy szórások miatt igen jelentős. Optimális körülmények között a vetéstől a kelésig 12-15 nap telik el, de szélsőséges viszonyok között tovább is eltarthat, esetleg rövidülhet. A historikus adatok és a különböző klímaváltozási scenáriók alapján elemeztük a fejlődési szakaszt befolyásoló küszöbértékek előfordulási gyakoriságait. Ennek eredményeképpen elmondhatjuk, hogy sokkal kevesebbszer fordulnak elő túl alacsony és sokkal többször a 14 °C-os és az ezt meghaladó értékek, tehát ez a fejlődési szakasz a jövőben várhatóan megrövidül.

A *szárbaindulás-kalászás* időszakban a klímascenáriók előrejelzése szerint a napi átlaghőmérséklet az őszi búza szempontjából várhatóan kedvezően alakul a referencia-időszakhoz képest. A két egyensúlyi scenárió (UKHI, UKLO) az optimális napi átlaghőmérsékletet jósolja Debrecenben, a többi az eddigihez hasonlót, de valamivel kedvezőbbet, kedvezőtlenül meleg pedig egy esetben sem valószínűsíthető. Ám ez az időszak a maga kiszámíthatatlanságával a jövőben kritikus lehet az őszi búzára nézve, mert a csapadékmennyiségek értékei túlságosan nagy ingadozást mutatnak. A szárbaindulás-kalászás időszak a napi átlaghőmérséklettől függ. A fázishossz a hőmérsékletre rendkívül érzékeny.

Elemzéseink során azt tapasztaltuk, hogy a klímaszcenáriók nagyon különböző előrejelzést adnak a küszöbértékekre.

A kalászos-*viaszerés* fejlődési szakaszt értékelve (május vége, június eleje és július közepe között) azt mondhatjuk, hogy a júniusi napi átlaghőmérséklet további növekedést mutat minden klímaszcenárió előrejelzése alapján, de a szélsőségesen meleg, 30 °C feletti napi átlaghőmérséklet egyetlen vizsgált időjárási adatsor esetében sem volt tapasztalható. A kalászos-*viaszerés* fejlődési szakasz időtartama általában 40-45 nap között változik. Az ezt befolyásoló szélsőséges hőmérsékleti értékek előrejelzett gyakoriságai a változások következtében várhatóan kisebb értékeket mutatnak, tehát a klímaváltozás kedvező körülményeket hozhat az őszi búzának a fejlődési szakaszában. Azonban az átlaghoz képest nagy kiugró maximumokat látunk mindenütt, ami óvatosságra int. Ezen a fejlődési szakaszon belül megkülönböztetve vizsgáltuk egy másik, aránylag rövid ideig tartó kritikus fázis, a virágzás klimatikus körülményeinek alakulását is. Az eredmények alapján mondhatjuk, hogy ez az időszak kedvezően alakulhat a különböző változásokat feltételező, általunk használt szcenáriók teljesülése esetén.

Az őszi búza minősége

A kalászkaszám kialakulásához (március második és április első felében) mérsékelt meleg időre van szükség, melynek optimális átlaghőmérséklete 15 °C. Vizsgáltuk, hogy mennyi a 14-16 °C napi átlaghőmérséklet előfordulási gyakorisága a különböző klímaváltozási szcenáriók esetén, március közepétől április közepéig. A kapott értékek alapján mondhatjuk, hogy a klímaváltozás ebből a szempontból kedvezően hat a búzatermelésre, hiszen minden éghajlatváltozási szcenárió több ilyen esetet jelez, mint a referencia időszakot jellemző BASE szcenárió. A sikértartalomhoz szükséges enzimaktivitás optimális hőmérséklete az őszi búzánál 17-23 °C. Vizsgáltuk, hogy ez a kalászos időszakon belül különböző klímaváltozási szcenáriókra, valamint a bázisidőszakokra hány napon teljesül. Az enzimaktivitáshoz, illetve a jó minőséghez, azaz a magas sikértartalomhoz szükséges optimális hőmérsékletű napok száma az UKLO-t kivéve mindegyik szcenárió előrejelzése szerint várhatóan magasabb lesz. Ebből a szempontból tehát a klímaváltozás kedvezően hathat a búzára. Az UKLO szcenárió adatai mutatják erre a paraméterre a legnagyobb szórást, azaz változékonyságot.

Összességében elmondható, hogy a vizsgált indikátorok alapján a klímaváltozás hatására az őszi búza minősége javulhat, ha a növény a fejlődése során az őt érzékenyen érintő extrém körülmények miatt nem sérül.

Modellezési esettanulmányok

A terméskockázat időbeni változásának és az őszi búza klimatikus igényeinek vizsgálatával párhuzamosan a növény fejlődési szakaszainak hosszára vonatkozó elemzést is végeztünk az erre intenzíven ható extrém hőmérsékleti értékek bekövetkezési gyakoriságait figyelembe véve. Mindezek alapján felvetődött a kérdés, hogy az éghajlat változása, illetve változékonysága hat-e, és ha igen, akkor hogyan a búzatermelésünkre. A kapott eredmények alapján indokoltnak tartottuk a megkezdett munka folytatását az őszi búza fejlődésének és termés hozamának vizsgálatára vonatkozóan. A további vizsgálatokban a 4M modell segítségével szimulációs kísérletezéssel végeztünk hatástanulmányokat.

Az őszi búza fenofázisainak alakulása

A következőkben a felmelegedés hatását vizsgáltuk az őszi búza fejlődési szakaszaira, azaz elemeztük, hogy különböző mértékű hőmérséklet-változás hatására hogyan változik a tenyészidő és az egyes fejlődési szakaszok hossza.

Összehasonlítottuk a fenofázisok átlagos hosszát, illetve kezdőnapját a vizsgált meteorológiai adatsorokra. Megállapítottuk, hogy a hőmérséklet-emelkedés hatására az őszi búza fenológiai fázisai lerövidülnek, tehát a fázisok kezdeti időpontjai várhatóan előbbre tolódnak. A szimulációk alapján jelentős változást a tenyészidőszak első felében tapasztaltunk, aminek hatása a növény fejlődése során végig kimutatható maradt. Az átlagos értékek nagyon kis szórással és variációs koefficienssel párosultak, tehát a változékonyság mértéke, az eredmények bizonytalansága igen csekélynek mondható. A modellezéssel számszerűsítettük azokat a sejtéseket, melyek a növény klimatikus igényeinek elemzésekor körvonalazódtak.

Az eredmények alapján megállapítottuk, hogy a tényleges vegetációs időszak várhatóan rövidebb, a becslések szerint a megfigyelt időszakok összehasonlítása (1961-90 és 2031-40) és a felhasznált modell eredménye alapján átlagosan hét-nyolc nappal. Az aratás időpontja a jövőben várhatóan tízévente egy nappal hamarabb következik be, aminek tendenciáját már napjainkban is tapasztaljuk.

Alkalmazkodási stratégia keresése, a vetésidő hatása a terméshozamra

Az éghajlatváltozási scenáriók alapján elemezhető a klímaváltozás várható hatása a terméshozamra is. A szemfejlődés alakulását elemezve azt tapasztaltuk, hogy a klímaváltozás kedvezően hathat a szemtermésre. Megvizsgáltuk azt is, hogy a modell eredménye mennyire jól becsüli a megfigyelt adatokat. Összevetettük a bázisidőszakra a Központi Statisztikai Hivatal adatbázisából származó megyei átlagot és a modellezett értékeket, és azt tapasztaltuk, hogy a modell csekély mértékben alulbecsüli a megfigyelt átlagot, továbbá hogy a modell eredményei kisebb szórásúak. A kapott szimulációs eredmény alapján elmondható, hogy a szemtermésre kedvezően hathat az éghajlatváltozás, hiszen a modell a hozamra 18% körüli növekedést prognosztizált.

Összevetve a bizonytalanságokat előrevetítő korábbi eredményeket, fontosnak tartjuk a klímaváltozáshoz való alkalmazkodási stratégiák keresését a termésbiztonság, illetve a szemtermés javítására. A fejlődési szakaszok korábbra tolódása alapján kézenfekvőnek tartottuk vizsgálni azt a kérdést, hogy vajon a vetési idő megváltoztatása a növény fejlődését és hozamát hogyan befolyásolja. Ennek keretében először az érés időpontjára való hatást elemeztük. A szimulációs kísérletek helyszínét, a scenáriót és a növény fajtáját a fenofázisok vizsgálatánál leírtakhoz képest nem változtattuk. A futtatásokat az október 20-i alapbeállításra és azon kívül még négy vetési időpontra alkalmaztuk, mindig egy-egy héttel előbbre hozva, illetve későbbre tolva a vetés napját. Eredményeink azt mutatják, hogy az érés időpontja várhatóan hamarabb bekövetkezik, a legjelentősebb eltolódás a két héttel korábbi vetésnél tapasztalható, ami a szemfejlődés hosszának rövidülésével is magyarázható.

A szimulációs kísérlet során azt is megfigyelhettük, hogy a szemfejlődés hossza a különböző vetési időpontokra szignifikánsan eltér, a két héttel korábbi vetésnél a legrövidebb.

A következő kérdés az volt, hogy a különböző vetési időpontok mennyire befolyásolhatják a növény szemtermésének mennyiségét, azaz hogy a vetés időpontjának előbbre vagy későbbre tolásával tompíthatjuk-e a klímaváltozás kedvezőtlen hatását, a szélsőséges éghajlati események negatív következményeit. Mindent összevetve, a szimulációs kísérlet során az őszi búza szemtermés mennyiségére kapott értékek alapján arra következtetünk, hogy az

átlagos értékek várhatóan az október 20-ai alapbeállításhoz képest két héttel korábbi vetésnél lesznek a legmagasabbak, jóllehet, a szemtermés nagyobb ingadozásával párosulva. Ráadásul a vizsgált vetési időpontok közül ugyanekkor jelentkezett a legnagyobb maximális érték is a szemtermésre vonatkozóan.

Az új eredmények rövid áttekintése

Munkánk során vizsgáltuk a már folyamatban lévő klímaváltozás hatását az őszi búza fejlődésére és hozamának alakulására vonatkozóan. Az esettanulmányokat Debrecenre leskálázott klímaváltozási scenáriók és bázisidőszakuk historikus adatainak összehasonlításával végeztük. Az alábbiakban röviden és tételesen összefoglaljuk az elért eredményeket:

- Négy megyének az 1951-2005 évekre vonatkozó, trendhatásoktól megtisztított őszi búza terméshozamait felhasználva több hatásossági kritérium alapján megmutattuk, hogy a búza terméskockázata az elmúlt évtizedekben jelentősen növekedett.
- A vizsgált minőségi paraméterek alapján elmondhatjuk, hogy a klímaváltozás az őszi búzára kedvezően hat.
- Végigkövetve a növény fejlődési szakaszait megállapíthatjuk, hogy az őszi búza klimatikus igényei várhatóan a jövőben is teljesülnek, jóllehet, a termésbiztonság ezzel együtt romlani fog.
- Modellezési esettanulmányunk alapján megállapítjuk, hogy a hőmérséklet-növekedés következtében a növény fenológiai fázisai várhatóan előbbre tolnak, különösen a fejlődés korai szakaszában. Ennek következtében az érés időpontja tízévente átlagosan egy nappal korábbra várható.
- A 4M növény-növekedési modellel becsült terméshozam a tényleges terméshozamot jól közelíti. A szimulációt a 2031-40 időszakra tranziens scenárió inputtal alkalmazva Debrecen helyszínére a 4M modell - növekvő szórással ugyan - a jövőbeni hozam átlagos növekedését 18% körülnek becsüli az 1961-90-es időszakhoz képest.
- Alkalmazkodási stratégiát keresve szimulációs kísérlet alapján megállapítottuk, hogy a jövőben a vetési idő előrehozása kínál lehetőséget a nagyobb termésmennyiségek elérésére, a két héttel korábbi vetés a terméshozam átlagosan közel 6%-os növekedését eredményezheti.

Mindent összevetve megállapíthatjuk, a modellezés jól alkalmazható a cselekvési programok kidolgozásában. Ezzel a változások okozta bizonytalanság csökkenthető, a megváltozott körülmények kedvező hatásai jobban kiaknázhatók, a kedvezőtlen hatások pedig eredményesen tompíthatók lesznek.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A regionális klímamodellek alkalmazása iránt egyre jobban fokozódik az érdeklődés, hiszen a cselekvési programok, vagyis a válaszadás elemei, a megelőzés, az alkalmazkodás, a kárenyhítés, a helyreállítás elsősorban az adott régióra valószínűsíthető éghajlati változásokra építhető fel. A hatékony termesztés szempontjából alapvető fontosságú megteremteni a biológiai, az ökológiai és agrotechnikai tényezők közötti összhangot, melyhez különböző lehetőségekkel próbálkoznak a kutatók:

- a környezet szimulálása, az ökológiai közösségekben lejátszódó folyamatok elemzése

(kísérletek fitotronban, üvegházban, stb.);

- múltbeli analógiák keresése, a jövőre becsült értékek és a historikus adatok alapján összehasonlító vizsgálatok végzése;
- összehasonlító vizsgálatok végzése a klimatikus igények teljesülésére;
- matematikai modellezés (szimuláció, kockázatelemzés stb.);
- szakértői értékelések, melyek megfigyelésekre, tapasztalatokra és statisztikai elemzésekre alapoznak.

Vizsgálataink a klímaváltozás hatását elemzik őszi búzára. A fent leírt lehetőségek közül az elsőt kivéve (amire nem volt lehetőségünk) minden megközelítést alkalmaztunk. A kimutatott terméskockázat-növekedés azt a nézetet támasztja alá, hogy az éghajlat „láthatóan” változik, aminek jeleivel szinte naponta találkozunk. A becsült meteorológiai jellemzők átlagosan nem mutatnak nagy változást a közeljövőre, – jöllehet, a század végére már igen – de eloszlásuk alakulása a mezőgazdaságban komoly következményekkel járhat. Az egyre gyakoribbá váló időjárási szélsőségek miatt pedig csak a bizonytalanságban lehetünk biztosak. Rengeteg kérdés vetődik fel a változás és annak hatásaival kapcsolatban, melyek megválaszolása részleteket összefogó multidiszciplináris nemzeti és nemzetközi munkát igényel, ami napjaink egyik legnagyobb kihívása.

Mit lehet tenni? A tényezők együttes hatásának vizsgálata elengedhetetlen, a folyamatokat összefüggésében célszerű elemezni. A becsült és a megfigyelt meteorológiai elemek statisztikai elemzése mellett más módszerek alkalmazása is szükségessé válik. A számítógépek elterjedésével erre kiválóan alkalmassá vált a modellezés, illetve a szimulációs növény-növekedési modellek. Segítségükkel virtuális kísérleteket végezhetünk a historikus és a modellezett meteorológiai adatokra, közben időt és költséget takaríthatunk meg.

Nagyon fontos hangsúlyozni, hogy a klímaváltozás hatása pozitív és negatív egyaránt lehet, bár a közvélemény elsősorban csak a negatív hatásokról értesül. Pozitív hatásra láttunk példát a virágzás kedvező feltételei mellett a búza minőségének klimatikus igényeit vizsgálva. A hatás mértékét és minőségét az *érzékenység* és a *sérülékenység* szavakkal is jellemzik. Megjelenik az *alkalmazkodóképesség* kifejezés is, amely a kedvezőtlen hatások természetes mérséklési, kivédési képessége a környezeti rendszerekben. Egy rendszer rugalmassági tulajdonságát kiegészítheti, illetve az érzékenységi és a sérülékenységi hatást befolyásolhatja az *adaptáció*, amely a növények alkalmazkodóképességén túl emberi beavatkozás függvénye is lehet. Az alkalmazkodási stratégiák kidolgozása az utóbbi néhány évben került a figyelem előterébe. Az elmúlt évtized szélsőséges időjárási eseményei felerősítették ennek szükségességét. A fejlődési szakaszok hosszát befolyásoló küszöbértékek gyakoriságainak ismerete továbblépési lehetőséget nyújthat a kockázatelemzésben, ezáltal megteremtve a még pontosabb, növényre, illetve helyre specifikus terméskockázat-elemzés alapjait.

Mivel a növények fejlődését és áttelelését a vetés időpontja is befolyásolja, az optimális vetésidő megválasztása döntő jelentőségű lehet a megváltozó körülményekhez való alkalmazkodásban. A korai vetési időpontnak más előnye is van. Amellett, hogy korábbi vetés kifogástalan munkakörülményt is lehetővé tesz a szántóföldön, az őszi megerősödött búza tavasszal jobban fejlődik, és jobban hasznosítja a télen lehullott nedvességet.

A természet naptára változik, ezzel együtt a növények fejlődési folyamata is. Egyre több tanulmány foglalkozik különböző ökoszisztémák növényeinek kapcsán a fejlődési szakaszok hosszának változásával, amely érzékeny és könnyen megfigyelhető indikátora a globális felmelegedésnek. Érdekes lehet a vetés időpontját egy hőmérsékleti határérték eléréséhez igazítva beállítani, hogy a vernalizáció valóban a fejlődés kezdeti szakaszában történhessen. A fenológiai fázisok előbbre tolódására kapott szimulációs eredményeink alapján továbbá a klimatikus igények vizsgálata nem csak a historikus adatok alapján rögzített időszakokra végezhető el. Célszerű lehet a

fejlődési szakaszok új időpontja alapján is elvégezni, ezáltal a bekövetkező hatások pontosabb körülírása is lehetővé válik. Ésszerű lehet a föld feletti szárazanyag tartalom mennyiségét, azaz a biomassa és szemtermés arányát is vizsgálni.

A modellezési eredmények alapján mindenképpen ezerszemtömegben mérhetően magasabb meleg- és szárazságtűrőbb fajtákat kellene bevezetni ahhoz, hogy a búzatermesztés kockázata ne növekedjen tovább. Kihívást jelent a nemesítők számára az optimális széndioxid-felhasználásra képes fajták előállításának is. A fajták egy jellegzetessége az alkalmazkodóképesség is, amely lehetővé teszi, hogy a fajta akkor is jó teljesítményt nyújtson, ha minden igényét nem tudjuk maximálisan kielégíteni. A megfelelő alkalmazkodóképességű fajták termésbiztonsága is kedvezőbb, e fajták termesztésénél a terméshozás kisebb mértékű. Ma az elsődleges feladat nem a hozam növelése, hanem a termésminőség, termésbiztonság javítása és a szélsőséges időjárási körülményeknek ellenálló fajták létrehozása lehet.

A hazai tudományos kutatás, a meteorológiai adatgyűjtés, az egyes ágazatok, köztük a mezőgazdaság tapasztalati adatai hatalmas szellemi tartalékot jelentenek, de sajnos kevés találkozási ponttal rendelkeznek. Összefogással, egymás munkájára építve és a feladatok közös megfogalmazásával és megvalósításával lehet kidolgozni és végrehajtani a jövőre vonatkozó intézkedési elképzeléseket. Eközben nem szabad megfeledkezni a kutatói utánpótlásról való gondoskodásról sem. Ezt a célt szolgálhatja a 4M magyar nyelven (is) kommunikáló, felhasználóbarát szoftver, ha a komplex gondolkodás elősegítésére az oktatásba is bevonjuk, melyet napjainkban igen időszerűnek látunk és a Budapesti Corvinus Egyetem, Matematika és Informatika Tanszék döntéstámogató- és szaktanácsadó rendszerek témájú tárgyainak keretében nagy sikerrel bevezetésre került. A modell segítségével a növényi fejlődés folyamatai nagyon szemléletes módon kerülhetnek bemutatásra, a fejlődést befolyásoló paraméterek változásának hatása könnyen és gyorsan elemezhető. A mezőgazdasági termelésbe kikerülő fiatal szakemberek látóköre a modellezés adta lehetőségeket megismerve szélesedik, a döntéshozók új nemzedéke így nyitottabbá válhat az új lehetőségek, termesztési módszerek alkalmazására.

A szerzőnek a témában megjelent publikációi

- [1] Boksai, D., **Erdélyi, É.** (2007): Importance and possibilities of maize production of Hungary in the future, ISIIR, Novi Sad In: *Environmental and social issues of the southeast panonian region: multidisciplinary approaches*, The Scientific World
- [2] Boksai, D., **Erdélyi, É.** (2007): The effects of climate change on the phenological phases of corn, Summer University on IT in Agriculture and rural Development, Debrecen, CD-ROM
- [3] **Erdélyi, É.** (2007): A klímaváltozás hatása az őszi búza fejlődési szakaszaira, „Klima21” Füzetek 51. szám, pp. 57-71.
- [4] **Erdélyi, É.** (2008): Az őszi búza érzékenysége a klímaváltozásra, VIII. Magyar Biometria és Biomatematika Konferencia, Budapest
- [5] **Erdélyi, É.**, Ferenczy A., Boksai D. (2008): A klímaváltozás várható hatása a kukorica és a búza fenofázisainak alakulására „Klima21” Füzetek, 53. szám, pp. 115-130.
- [6] **Erdélyi, É.**, Ferenczy A. (2008): Modellezési esettanulmány az őszi búza termésmennyiségének várható alakulásáról különböző vetési időpontok esetén, VIII. Magyar Biometria és Biomatematika Konferencia, Budapest
- [7] **Erdélyi, É.** (2006): Application of graph theory in investigating agroecosystems effected by

extrem weather conditions, *Applied Ecology and Environmental Research* 4(2), p. 181-187.

- [8] **Erdélyi, É.** (2006): Climate Change and Temperature Needs of Winter Wheat, *Ecological problems of our days - from global to local scale*, Keszthely, CD-ROM
- [9] **Erdélyi, É.** (2007): Agriculture's role in climate protection: growing energy crops for renewable energy production, 11th International Eco-Conference, 7th Eco-Conference on Environmental protection of urban and suburban settlements, Novi Sad, Serbia, p. 263-269.
- [10] **Erdélyi, É.** (2007): Crop Modelling in Climate Change Research, ADAM Workshop, Budapest
- [11] **Erdélyi, É.** (2007): Uncertainty and risk in winter wheat production of Hungary, ISIIR 2007, Novi Sad, In: *Environmental and social issues of the southeast panonian region: multidisciplinary approaches*, The Scientific World
- [12] **Erdélyi, É., Boksai, D., Ferenczy, A.** (2008): Assessment of climate change impacts on corn and wheat in Hungary, 12th International Eco-Conference, 5th Eco Conference on Safe Food, Novi Sad (Serbia), pp. 49-55.
- [13] **Erdélyi, É., Ferenczy, A., Boksai, D.** (2007): Climate Change and Cereal Crops Growing in Hungary, EFITA Conference, Glasgow, CD-ROM
- [14] **Erdélyi, É., Horváth, L.** (2006): Climate Change and Precipitation Needs of Winter Wheat, Summer University on Information Technology in Agriculture and Rural Development, Debrecen, p. 33-40.
- [15] **Erdélyi, É., Horváth, L., Boksai, D., Ferenczy, A.** (2006): How climate change influences the field crop production II. – Yield variability of maize, ECO-Conference, Novi Sad, p. 7-12.
- [16] **Erdélyi, É., Hufnagel, L.** (2003): A Graph Theory Analyses of an Agro-Ecosystem, 4th International Conference of PhD Students, Miskolc, p. 231-234.
- [17] Ferenczy, A., **Erdélyi, É., Boksai, D.** (2008): A climate change case study for the prospective production of main crops in Hungary for different sowing dates, 50. Georgikon Napok, Keszthely p. 170.
- [18] Horváth L., Hufnagel L., Révész A., Gaál M., Ladányi M., **Erdélyi É.** (2002): Agroökoszisztémák modellezése, XLIV. Georgikon Napok - Stabilitás és Intézményrendszer az Agrárgazdaságban, Keszthely, p. 45.
- [19] Horváth, L., **Erdélyi É.** (2006): How climate change influences the field crop production I. – Use of spatial analogy, ECO-Conference, Novi Sad, pp. 1-6.
- [20] Horváth, L., Gaál, M., **Erdélyi É.** (2006): The use of spatial analogy in climate change research, Summer University on Information Technology in Agriculture and Rural Development, Debrecen, pp. 48-54.
- [21] Hufnagel L., Ladányi M., Gaál M., Horváth L., **Erdélyi É.** (2006): Klíma és mezőgazdaság – módszertani kutatások a BCE Matematika és Informatika Tanszékén, „VAHAVA” projekt zárókonferenciája, http://mit.uni-corvinus.hu/vahava/file/Novenytermesztes_3.pdf
- [22] Ladányi M., **Erdélyi É.** (2002): Kölcsönhatási hálózatok időbeli szimulációja, Agrárinformatikai Konferencia, Debrecen, p. 296-314.
- [23] Ladányi M., **Erdélyi É.** (2005): A kukoricatermesztés kockázatának vizsgálata egy új sztochasztikus hatásossági módszerrel (The increase of risk in maize production detected by a new stochastic efficiency method), Agrárinformatika 2005, Debrecen
- [24] Ladányi, M., **Erdélyi, É.** (2004): Istraživanje zemljište-biljka-klima-štetočine modela u znaku održive poljoprivrede (Examination of a soil-plant-weather-pest system in the light of sustainable

agriculture), „III Međunarodna eko-konferencija – Zdrastveno bezbedna hrana”, Novi Sad, p. 413-418.

- [25] Ladányi, M., **Erdélyi, É.** (2006): Climate change and risk assessment in hungarian viticulture: a methodological approach, AVA3 Debrecen, International Conference on Agricultural Economics, Rural Development and Informatics, p. 253-261.
- [26] Ladányi, M., **Erdélyi, É.** (2007): A review of risk methods in climate change impact research, ISIIR 2007, Novi Sad 2007. június 21-22. “Environmental and social issues of the southeast panonian region: multidisciplinary approaches, The Scientific World
- [27] Ladányi, M., **Erdélyi, É.** and Révész, A. (2003): An ecosystem model to simulate agroecological processes. In: Harnos, Zs. et al. (eds): EFITA 2003 Conference, Debrecen-Budapest, Hungary. Information technology for a better agri-food sector, environment and rural living, pp. 739-746.
- [28] Ladányi, M., **Erdélyi, É.**, Szenteleki, K. (2007): The increase of Hungarian vine production due to climate change, EFITA Conference, Glasgow, CD-ROM
- [29] Ladányi, M., Gaál, M., Horváth, L., Hufnagel, L., Révész, A. and **Erdélyi, É.** (2003): An agro-ecosystem simulation model for precision agriculture. In: Werner, A. and Jarfe, A. (Eds): *Programme book of the joint conference of ECPA-ECPLF*, Wageningen Academic Publishers, The Netherlands. pp. 469-470.
- [30] Ladányi, M., Szenteleki, K., **Erdélyi, É.** (2007): The Risk of Hungarian Vine Production from Climate Change Aspect, OIV Budapest, CD-ROM
- [31] Szenteleki K., Ladányi M., **Erdélyi É.**, Horváth L., Hufnagel L., Révész A. (2007): A KKT Klímakutatás adatbáziskezelő szoftver, XLIX. Georgikon Napok, Keszthely, p. 116.
- [32] Szenteleki, K., Ladányi, M., **Erdélyi, É.**, Horváth, L., Hufnagel, L., Solymosi, N., Révész, A. (2007): Introducing the KKT Climate Research Database Management Software, EFITA Conference, Glasgow, CD-ROM