

A kutatási munkaterv szerint az elvégzendő feladatokat négy nagyobb csoportba lehet sorolni:

1. Intelligens információs rendszerek építése és folyamatos karbantartása
2. Növényi növekedési modellek összegyűjtése, adaptálása, fejlesztése
3. Kockázatelemzés
4. Döntéstámogató rendszerek építése

1. Az információs rendszerek (IR) építése már a jelen OTKA kutatás előtt elkezdődött, s jelenleg is folytatódik a klímaváltozással összefüggő kutatások keretében.

A információs rendszer alapját a meteorológiai adatbázis képezi, amely

- 1951-től napi adatokkal lefedi az ország területét
- havi adatok a rendszeres megfigyelések kezdete óta (1873) rendelkezésre állnak hat megfigyelő állomásra
- az IR-hez kapcsolódó menürendszer lehetővé teszi különböző statisztikák számítását (minimum, maximum értékek, gyakoriságok, tenyészidőszakok meghatározása, száraz és nedves időszakok eloszlása stb.)

Az IR további három fontos adatbázist tartalmaz

- tartamkísérletek információit,
- talajtani információs rendszert,
- növényi termésátlagok megyei idősorai.

A tartamkísérleti IR feldolgozása segíti elő a fenológia elemzést a termesztési paraméterek és a hozam közötti összefüggések statisztikai elemzését.

A programrendszer a Tanszék belső hálózatán belül működik. A programba való belépéskor minden kutató a saját azonosítójával lép be, s ezzel az azonosítóval ki is alakítja magának azt a gyűjtő konténert (Access adatbázis), amelybe a saját szűrési eredményei, lekérdezési adattáblák formájában bekerülnek.

A klimatikus napi adatok lekérdezéséhez a klímaváltozás jelzésére nemzetközi szinten megfogalmazott és elfogadott 27 alapindex vizsgálatát biztosítjuk a programrendszerben.

Havi meteorológiai adatok esetén rendelkezésünkre állnak az Európára kidolgozott 10 km-es felbontású adatsorok 1901-2002 között, illetve a meteorológiai scenáriók 2001-2100 éves időszakokra vonatkozóan, ugyanilyen léptékben.

Napi adatokra és havi adatokra egyaránt építhető klimatikus profilindikátorok alakíthatók ki a hőmérséklet (minimum, átlag, maximum), illetve a csapadékadatok éves (vagy tenyészidőre korlátozott) eloszlásának megfogalmazásához szükséges feltételrendszer megadásával. Napi adatok esetében a feltételrendszer napról napra rögzíthető, de nagyobb időszakok (pl. heti), peremfeltételek megfogalmazásakor a lineáris interpoláció is alkalmazható, amit a számítógép automatikusan alkalmaz.

Zöldségtermesztés információs rendszere

A zöldségtermesztési információs rendszer alapja az agroökológiai feltételeket monitoring jelleggel leíró faktografikus és térinformatikai rendszer, amely lehetőséget ad:

- a klimatikus viszonyok vizsgálatára a 35 agroökológiai körzetre vonatkozóan, az 1951-1993 közötti OMSZ adatok alapján,

- a talajadottságok vizsgálatára az 1:100000-es Agrotopo talajtani térkép felhasználásával,
- fajta-adatbázissal segíti a megfelelő fajta kiválasztását.

A termőhelyek klimatikus feltételeinek vizsgálata a zöldségfajonként (zöldborsó, zöldbab, paradicsom, étkezési paprika és fűszerpaprika) meghatározott kritikus meteorológiai paraméterek, és azok gyakorisági értékei alapján történik. Egyszerre 1-3 paraméter vizsgálható.

A talajtani viszonyok vizsgálatánál a kiindulás lehet tematikus térképek készítése, több szempont szerinti keresés vagy az ország egy területének kijelölése. A fontosabb talajparaméterek minősítése zöldségfajonként (esetenként termesztéstechnológiától függően) jó, közepes és rossz kategóriákkal történik.

Az eredmények áttekinthetőségét a térképi megjelenítés és további, menüből választható lekérdezési lehetőségek biztosítják.

2. Növényi növekedési modellek összegyűjtése, adaptálása, fejlesztése

A növényi növekedési modellek fejlesztése terén széleskörű munka folyt a kutatócsoportban. Az eredményeket négy csoportba lehet foglalni

- a) agroökológiai táplálékhálózati rendszer populációdinamika biomassa modelljének a fenológiai általánosítása (Ladányi et al 2003, Ladányi-Hufnagel 2003, 2006)
- b) nemzetközileg elfogadott modellek összegyűjtése és összehasonlító tesztelése (Ladányi 2006, Erdélyi et al 2007)
- c) a növénytermesztés és időjárás sztochasztikus kapcsolatának elemzése
- d) búza és kukorica modellek adaptálása és hasznosítási lehetőségük feltárása, (Erdélyi et al 2007, Erdélyi-Ferenczy 2007,)

a) Populációdinamikai és fenológiai modellezés

A bioszférát alkotó élőlényegyüttesek állapotának vizsgálata, az állapotváltozások nyomkövetése, értékelése és a mindezek mögött megbúvó hatótényezők kutatása (okozati és korrelációs kapcsolatok feltárása), illetve a változások előrejelzése az emberi társadalom hosszútávú érdekei szempontjából a legfontosabb feladatok közé sorolható. Ezen ismeretek és adatok hiányában sem a különféle emberi tevékenységek körültekintő tervezése (előzetes hatásbecslés), sem mindezek utólagos hatásvizsgálata, értékelése nem képzelhető el. A mezőgazdasági termelés eredményessége jelentős mértékben függ attól, hogy a termesztett növények közelében milyen versengő vagy egymást segítő, illetve szimbiotikus kapcsolatban lévő élőlények, kórokozók, kártevők, illetve a szaporodást elősegítő rovarok, illetve mindezek természetes ellenségei milyen mennyiségben és arányban fordulnak elő. Éppen ezért jelenlegi kutatómunkánk egyik legfontosabb célja az volt, hogy a növényvédelmi és agronómiai kockázatokat meghatározó élőlényközösségek egészét elemezzük modellezési és kockázatelemzési módszerekkel. A modern növényvédelmi és integrált növénytermesztési tevékenységnek is jelentős részben ezen élőlényegyüttesek finom (környezettudatos és gazdaságos) szabályozásával kellene foglalkozni.

Az agro - ökológiai táplálékhálózati rendszer populációdinamikai biomasszamodelljét és annak fenológiai általánosítását a fentiekben vázolt alapelvek alapján készítettük el. Ennek keretében a környezetvédelem és az optimális gazdálkodás összehangolása céljából a növény -- időjárás - kártevő rendszert mint komplex ökoszisztémát vizsgáltuk. Szezonális populációdinamikai modellünk segítségével a teljes agro-ökoszisztémára gyakorolt külső hatásokat és a populációk közötti kölcsönhatásokat is vizsgálni tudjuk. A biomassa alapú

modellben elsősorban az időjárás szezonális mintázatát, valamint a rendszerben rejlő biotikus kölcsönhatásokat kívántuk figyelembe venni, de a modell szerkezetét úgy terveztük, hogy egyéb hatások vizsgálata is könnyen beépíthető legyen. (Őszi et al 2006, Ladányi-Hufnagel 2003, Ladányi et al 2003)

A növénytermesztés és -védelem jövőjének kutatása egyszerre kívánja meg az egyre specifikusabb és az általános modellek tervezését, illetve azok alkalmazható formában való megalkotását. Magyarországon a kutatások még sok betöltetlen űrt tartalmaznak. Amellett, hogy hazánkban a növények fiziológiájával kapcsolatos, illetve a talaj fizikáját pontosan és részletesen ábrázoló, időjárási paramétereiktől függő modellek szép számmal születtek és születnek, a kártevők modellezése indokolatlanul háttérbe szorult. Történt mindez annak ellenére, hogy a kártevő populációk, illetve a kártevők fejlődésmenetének (fenológiájának) térbeli és időbeli dinamikus modellezésének intenzív kutatása a precíziós növényvédelem egyik kulcsfontosságú elemévé válhat. A fenti biomasszamodell általánosításaként egy ökológiai rendszer egyes populációinak napi biomasszamennyisége, a napi időjárási adatok és a populációk fenológiai és más biológiai tulajdonságai alapján meghatároztuk a populációk egyes fenofázisainak napi egyedszámát és átlagos egyedtömegét.

A felépített szimulációs modell egy rész-rendszerének paramétereit négy budapesti csipkésposloska - populáció (*Corythuca ciliata*) adataival kalibráltuk és vetettük további vizsgálatok alá. (Ladányi-Hufnagel 2006)

A modellfejlesztés terén elért eredmények Ladányi Márta doktori disszertációjának jelentős részét képezte. Ladányi Márta doktori fokozatát summa cum laude minősítéssel 2006-ban nyerte el. Disszertációjának címe: Folyamatszempléti alternatívák az agroökológiai modellezésben.

b) Modellek összegyűjtése, tesztelése

A kutatások során együttműködés alakult ki a

- a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrumban működő, Nagy János professzor által vezetett, Interdiszciplináris Agrár- és Természettudományok Doktori Iskolával,
- az MTA TAKI Modellezési Munkacsoportjával,
- az AGRIDEMA (Introducing tools for agricultural decision-making under climate change conditions by connecting users and tool-providers) FP6-os EU program nemzetközi kutatócsoportjával.

Az elemzésekbe az alábbi modelleket vontuk be

modell neve	fejlesztők	jellemzője
4M	Fodor Nándor at al MTA TAKI	CERES modell továbbfejlesztése
CropSyst	M. Donatelli Washington State University	egyszerű, dinamikusan használható
LAPS	D.T. Mihailovic at al University of Novi Sad	talaj – légkör kapcsolatát írja le
LARS-WG	M.A. Semenov at al Rothamsted Agricultural Research Institute	időjárás generátor
Sirius	M.A. Semenov Rothamsted Agricultural	búza növekedési modell

	Research Institute	
Stics	N. Brisson at al INRA France	széleskörű agrotechnikai paraméterezést tud használni
Wofost-Perun- Met&Roll	M. Dubrovsky University of Agriculture and Forestry, Brno	gabonatermesztési modell
AFRCWHEAT	J. Porter at al Long Ashton Research Institute UK	búza növekedési modell

Részletes elemzésekre elsősorban a 4M, a Sirius és az AFRCWHEAT modelleket használtuk. Az együttműködés keretében szerveztünk a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrumában egy Nyári Egyetemet 2006-ban, majd egy háromnapos workshopon értékeltük a modelleket (Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar, Matematika és Informatika Tanszék 2006. augusztus 23-25). A Nyári Egyetem programbizottságának elnöke Harnos Zsolt volt (Harnos Zs. – Herdon M. 2006).

c) A növénytermesztés és időjárás sztochasztikus kapcsolatának elemzése

Növénytermesztésünknek elsősorban mérsékelt felmelegedésre és csapadékhiányra kell felkészülni, a változásokat a szélsőségek gyakoriságának növekedése is kísérni fogja. A csapadékhiány fokozott termés kiesést okozhat, nagyobb évenkénti termésszűkülésre kell számítani, újabb kórokozók, kártevők, gyomok jelenhetnek meg.

Az éves hőösszegek lassan növekvő tendenciát, az éves csapadékösszegek lassú csökkenést mutatnak, a csapadékmennyiség nagy ingadozása várható.

A búza termesztése jelentős ágazata növénytermesztésünknek. Vetésterületében visszaesés következhet be klímaváltozás függvényében. A tenyészidőre számolt hőösszegek növekedésére kell számítanunk, vetéstől érésig az őszi búza várhatóan valamivel több csapadékot kap, mint eddig.

A növény növekedési szakaszainak hosszát és bekövetkezésének időpontját lényegesen módosíthatják az időjárási körülmények. A vetést követően a megszokott hőmérsékleti és csapadék körülmények továbbra is adottak lesznek a növény számára, a novemberi csapadékösszeg kielégítően alakul, de nagy lehet a csapadéértékek ingadozásának mértéke. A búza hőigénye a tenyészidő folyamán változik. A vetéstől a kelésig tartó időszak rövidülése várható a 14 °C szélsőséges hőmérséklet érték gyakoribb elérése miatt. Március második és április első felében, a kalászonkénti kalászkaszám kialakulásakor kedvezőbb átlaghőmérsékletek várhatók. A szárbaindulás-kalászolás fázisban – mely kb. április első dekádjától május második dekádjáig tart - az őszi búza igen érzékeny a hőmérsékletre, de az előrejelzések nem mutatnak nagy változást. A szemtermés kifejlődésénél döntő jelentőségű a májusi és június eleji időjárás. Kedvező, ha ez az időszak csapadékos és hűvös, mert ilyen időjárás hatására alakul ki nagy ezerszemtömeg, jobb a termés minősége.

A májusi átlaghőmérsékletek várhatóan kedvezően alakulnak, de a május előreláthatóan kevésbé lesz csapadékos a jövőben és a nagyon nagy változékonyság következtében ez az időszak kiszámíthatatlanná válhat.

A csapadékhiány, de a túl sok csapadék is nagy valószínűséggel előfordulhat, ami mindkettő káros, emiatt ez az időszak kritikus lehet az őszi búzára nézve a jövőben. A szárbainduló búza

zavartalan és egyenletes vízellátást igényel, aminek teljesülése sajnos megkérdőjelezhető a klímaszcenáriók alapján. Virágzáskor a búza nagyon érzékeny a magas, 30 °C feletti hőmérsékletre, a 10 °C alatti hőmérséklet pedig szélsőségesen rossz, melyek szerencsére nem várhatók. A virágzás optimális hőmérséklete 20-25 °C, az előrejelzések erre a fenofázisra nagyon kedvezőek. A zavartalan éréshez és a szemek kifejlődéséhez viszont kedvező ha a június nem túlzottan meleg. A júniusi átlaghőmérséklet sajnos további növekedést mutat, ami kényszeréréshez vezethet. A kalászás-viaszérés időszakban tehát a több fokkal magasabb átlaghőmérséklet, különösen szárazsággal párosulva nagyon kedvezőtlen lehet a növényre. Károsan hat a termésre a sok csapadék is. A júliusi csapadékösszegek előrejelzett értékei jóval magasabbak, a szórásaik, így a változékonyság is elég nagy. A várható körülményeket összefoglalva azonban elmondható, hogy a klímaváltozás kedvező körülményeket hozhat az Qzú búzáknak, bár a csapadék változékonysága elég jelentősnek látszik, ami óvatosságra int.

A minőségi paraméterek közül a sikértartalmat vizsgáltuk. Kutatási eredmények bizonyítják, hogy a legjobb sütőipari minőségű búzát a legszárazabb évben takarították be, de azt is megmutatták, hogy a száraz érésbeli időjárás a sikerminőséget a csökkent enzimaktivitás miatt rontja. Az enzimaktivitás optimális hőmérséklete 17-23 (C. A klímaszcenáriókban az ilyen hőmérsékletű napok nagyobb gyakorisággal figyelhetők meg, ami kedvező lehet a minőségre.

d) Búza és kukorica modellek adaptálása

A utóbbi években a klímaváltozás és annak lehetséges hatásainak a vizsgálata vált a nemzetközi kutatások egyik központi témájává. Magyarország az egyik legveszélyeztetettebb terület az IPCC jelentések szerint, s így a klímaváltozásra való felkészülés egyik kulcskérdése: hogyan alakulnak a gazdasági növények termesztési feltételei. A két legfontosabb gazdasági növényünk a búza és a kukorica, s így elsősorban ezek vizsgálatára koncentráltunk. Mindkét növénynél részletesen elemeztük a különböző fenofázisok múltbeli alakulását, statisztikus viselkedését, s klímaszenáriók felhasználásával azok várható változási tendenciáit.

A kutatás keretében a búzatermesztés feltételeinek változásával foglalkoztunk. A kutatás célja az volt, hogy a jelenlegi információink szerint „változnak-e a búza termesztési feltételei a jövőben, s ha igen, milyen termelési potenciállal számolhatunk?”

Az elemzések alapjául a Debrecenben megfigyelt tényadatokat (meteorológiai és termesztési), valamint öt klímaszcenárió meteorológiai idősorait használtuk. Részletesen vizsgáltuk az egyes fenofázisok múltbeli és várható alakulását, s a változások várható hatásait. Az elemzésekhez nem csak statisztikai elemzéseket, hanem szimulációs modelleket is felhasználtunk.

Az elemzések eredményei az jelzik, – összhangban a korábbi vizsgálatokkal – hogy ha a genetikai, illetve agrotechnikai fejlődés nem tudja kompenzálni a romló klimatikus feltételeket, akkor csökkenő hozamokkal kell számolni. Ez nem csak Debrecenre és környezetére vonatkozik, hanem országosan is igaz lehet. A szcenáriók által jelzett felmelegedés az egyes növények termesztési zónáját északabbra tolja, ami jelentős földhasználati módosulásokat válthat ki.

	Tényleges termés (t/ha)		Szimulált termés (t/ha) AFRCWHEAT	
	Győr			
Tényleges időjárás	4.88	0.63	4.9	0.5
HADCM 2 klímaszenárió				
CO ₂ koncentr.: 360 ppm			3.7	0.4
CO ₂ koncentr.: 500 ppm			4.2	0.5
Debrecen				
Tényleges időjárás	4.69	0.69	4.8	0.6
HADCM 2 klímaszenárió				
CO ₂ koncentr.: 360 ppm			3.8	0.4
CO ₂ koncentr.: 500 ppm			4.4	0.5

1. ábra A búza szimulált termésátlagai

A kukorica termesztési folyamatának vizsgálata során szimulációs kísérleteket végeztünk, amelyek során arra a kérdésre kerestünk választ, hogy különböző időjárási körülmények (eltérő klímaszenáriók, különböző modellekkel készített mintaadatsorai) bekövetkezése esetén, hogyan alakulna a kukorica szemtermés és biomassza mennyisége, valamint fenofázisainak hossza és kezdő napja.

Megvizsgáltuk, hogy a szimulációs kísérletek outputjaira milyen hatással van, ha különböző (reális és irreális) öntözési beállításokat alkalmazunk. Ezek célja, hogy elkülöníthessük a hőmérsékletváltozás önmagában kifejtett hatását a csapadék hatástól, illetve feltérképezzük a beavatkozási lehetőségek határait. Kísérletünket a CERES-re épülő 4M 3.1 növénytermesztési szimulációs rendszermodellel valósítottuk meg. Alapbeállításaként a Dekalb 471 kukoricafajta specifikus jellemzőit használtuk fel. A talajtani és természetföldrajzi viszonyokat leíró beállítások a Debrecen-környéki kukoricatermesztés ismert körülményeit foglalták magukba.

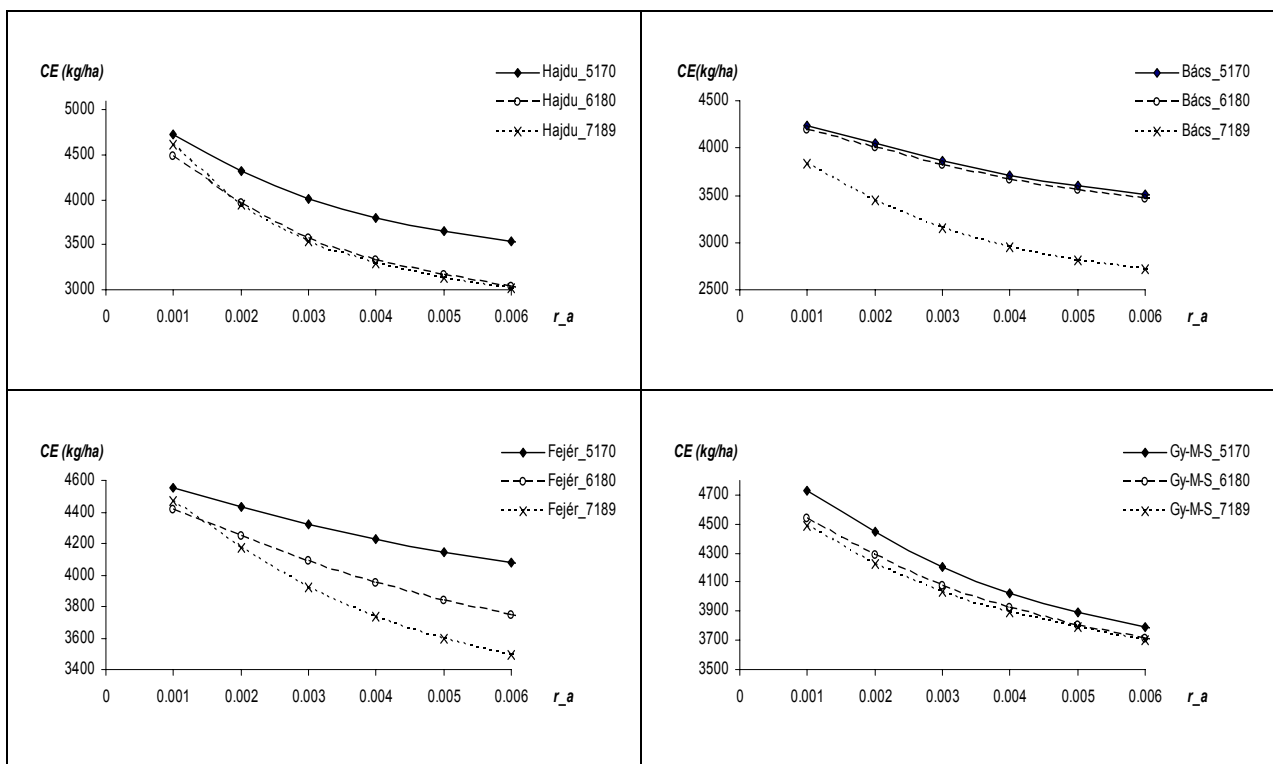
A vizsgálatok során megállapítottuk, hogy a magasabb hőmérsékleti átlagok hatására a fenofázisok hossza minden esetben csökkent, a fenofázisok kezdő napja előre tolódott a historikus időjárási körülményekhez képest minden scenárió esetén, függetlenül attól, hogy alkalmaztunk-e öntözést. A kezelés nélküli futást és az öntözéssel kombinált futásokat összehasonlítva, a biomassza és a szemtermés mennyisége minden scenárió esetén jelentősen meg növekedett öntözés esetén. Összességében elmondhatjuk, hogy az általunk feltételezett klímaváltozás hatása önmagában nem vonja maga után a kukorica szemtermés, illetve biomassza mennyiségének szignifikáns növekedését, míg öntözéssel jelentős termés mennyiség növekedés érhető el a megváltozott hőmérsékleti feltételek között. Ezen vizsgálatokban jelentős előrelépést a növényvédelmi hatások figyelembevétele hozhat, ami a modell továbbfejlesztésével valósítható meg. (Erdélyi et al 2006)

Az AFRCWHEAT és a 4M modell felhasználásával szimuláltuk a hozamok alakulását. A kapott eredmények alapján a termesztési (agroökológiai) feltételek romlanak, ami hosszútávon átgondolásra kell hogy készítse az agrárágazat fejlesztési politikáját. (Erdélyi et al 2007, Erdélyi –Ferenczy2007, Ladányi-Erdélyi2007)

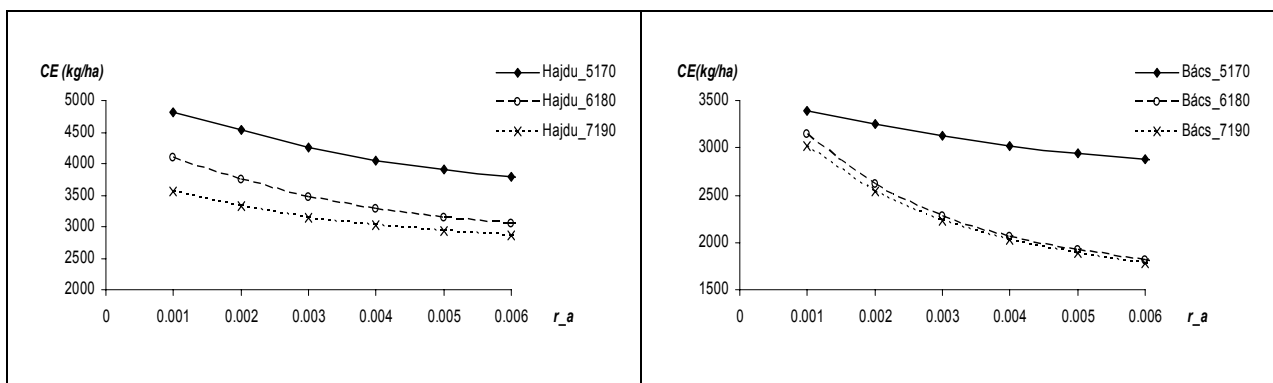
A búza elemzések alapját képezik Erdélyi Éva kutatásainak, a ki e témakörből készített disszertációját várhatóan még 2007-ben megvédi. A kukorica elemzésekből készítette Boksai Daniella egyetemi hallgató OTDK dolgozatát.

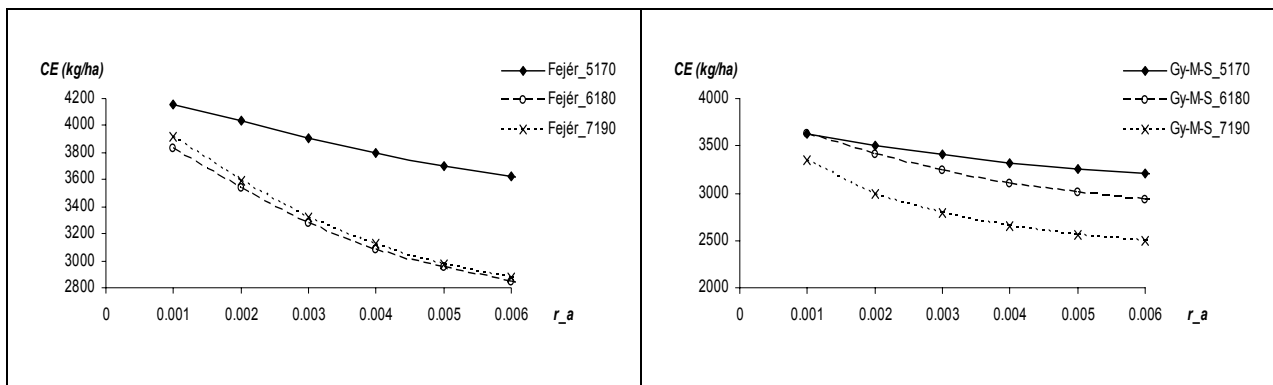
3. Kockázatelemzés

Az agrárgazdaságban, ezen belül a szántóföldi növénytermesztésben számos olyan döntési feladattal szembesülünk, melyek során a gazdaságosság és fenntarthatóság mellett évről évre egyre nagyobb szerepet kap a döntéssel járó kockázat mértéke (Harnos 2006). A kockázatok között hazánkban különösen is kiemelkedő jelentőséggel bír a hozam kockázata, mely az elmúlt évtizedek tapasztalata alapján figyelemreméltó mértékben növekedett. Kockázatelemző munkánk során objektív módszertani eszközök segítségével igazoltuk, hogy a kukorica és a búza termesztésének kockázata Magyarország négy megyéjében (Hajdú-Bihar, Bács-Kiskun, Fejér és Győr-Moson-Sopron megye) az 1951-90-es években a döntéshozónak a kockázatvállaláshoz való viszonyától (*risk aversion*) majdnem teljesen függetlenül emelkedett, egyes helyeken jelentősen, továbbá, hogy a kockázatnövekedés üteme helyenként gyorsult is. (A 90-es évektől vizsgálatainknak elsősorban a megfelelő megyei adatok hiánya vetett gátat.) (Ladányi –Erdélyi 2007)



2 ábra. Sztochasztikus hatásosság a kukorica megyei aktualizált terméseredményeire 1951-1970-ig, 1961-1980-ig, 1971-1989-ig (kg/ha)





3. ábra. Sztochasztikus hatásosság a búza megyei aktualizált terméseredményeire 1951-1970-ig, 1961-1980-ig, 1971-1990-ig (kg/ha)

Mivel munkánk során a személyes kockázati averziót nem állt módunkban megismerni, az általánosan elterjedt negatív exponenciális hasznossági függvényt használtuk, melynek legfontosabb jellemzője hogy a hozzá tartozó abszolút kockázati averzió nagysága állandó, míg a relatív kockázati averzió a rendelkezésre álló tőkéből lineárisan függ. (Ladányi-Erdélyi in press, Ladányi et al in press)

A kockázat mértékének növekedését az általánosított sztochasztikus dominancia-módszer egy közelmúltban egyszerűsített változatával, a kockázati averziótól is függő sztochasztikus hatásossági kritérium segítségével igazoltuk.

A szántóföldi növények termesztésében az ötvenes évektől kezdődően az új termesztési technológiák és a fajtaváltás következtében először lassú, később egyre gyorsuló ütemű termésnövekedés kezdődött meg. Ez a gyorsulás a hetvenes évek elején-közepén megtorpant, bár a növekedés folytatódott. Ami a kockázat szempontjából ennél még fontosabb: a magyarországi rendszerváltozás okozta termés kiesésen kívül már a 80-as évek kezdetétől nagyarányú szóródás-növekedés figyelhető meg.

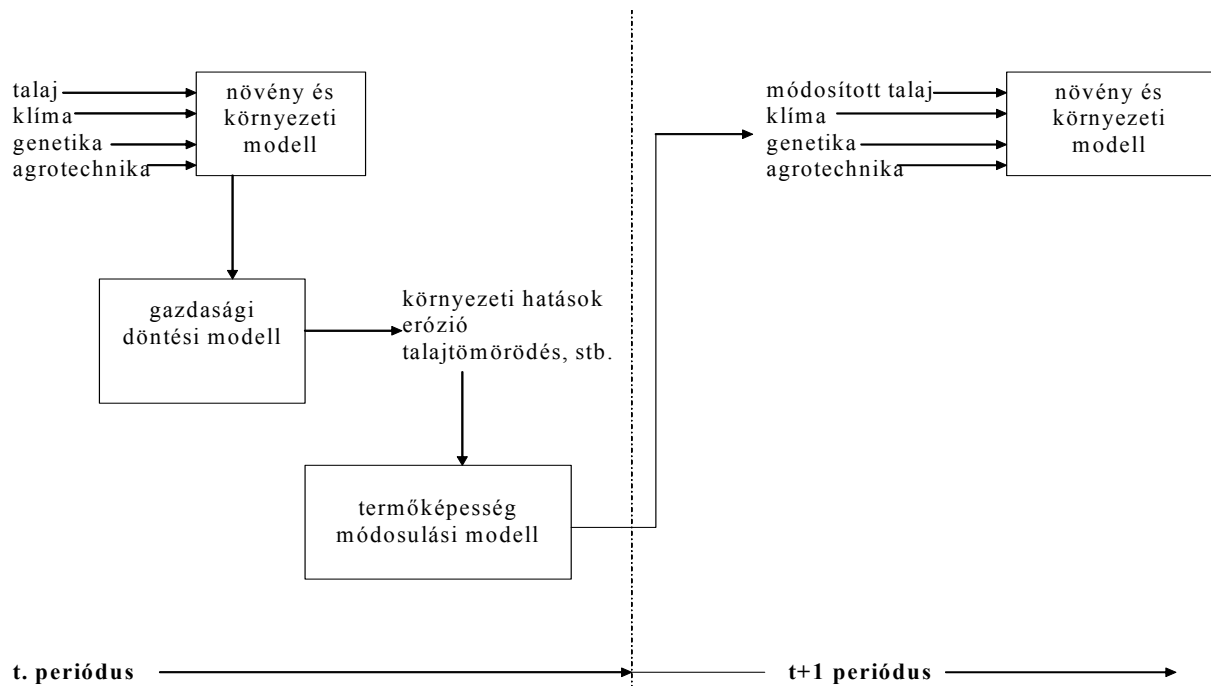
4. Döntéstámogató rendszerek

Környezetkímélő mezőgazdaság tervezése

A mezőgazdaság fejlesztésre irányuló döntések, tervek megfogalmazásakor legtöbbször a termelés-termőhely kölcsönhatásból csak azzal számolnak, hogy a termőhely milyen hozamok elérését teszi lehetővé, és csak sokkal kevésbé azzal, hogy az alkalmazott agrotechnika milyen változásokat idéz elő a termőhely vagy tágabb értelemben vett környezet állapotában, s ennek milyen hatásai lehetnek a termelés hosszabb távú feltételeire.

A környezetkímélő mezőgazdaság tervezésekor számos kérdés merül fel, amelyek megoldására még nincs kidolgozva általánosan elfogadott módszertan.

Kutatásainkban egy dinamikus modellrendszert dolgoztunk ki, ami alapját képezi a precíziós növénytermesztésnek is. A rendszer dinamikáját a 4. ábra szemlélteti



4. ábra

Ha a termelés folyamatát írjuk le, akkor egy adott időpontban ismertnek kell feltételezni

- a termőhely „állapotát” (talajparaméterek, tápanyagellátottság, vízellátottság stb.), amiket a PM indulásánál meg kell határozni,
- a termőhelyre „jellemző” klimatikus viszonyokat,
- a rendelkezésre álló genetikai és agrotechnikai paramétereket.

A gazdasági környezet figyelembe vételével meg lehet határozni az optimális termelési tervet. Az agrotechnikai beavatkozások a gazdasági év során változhatnak az aktuális környezeti paraméterek függvényében.

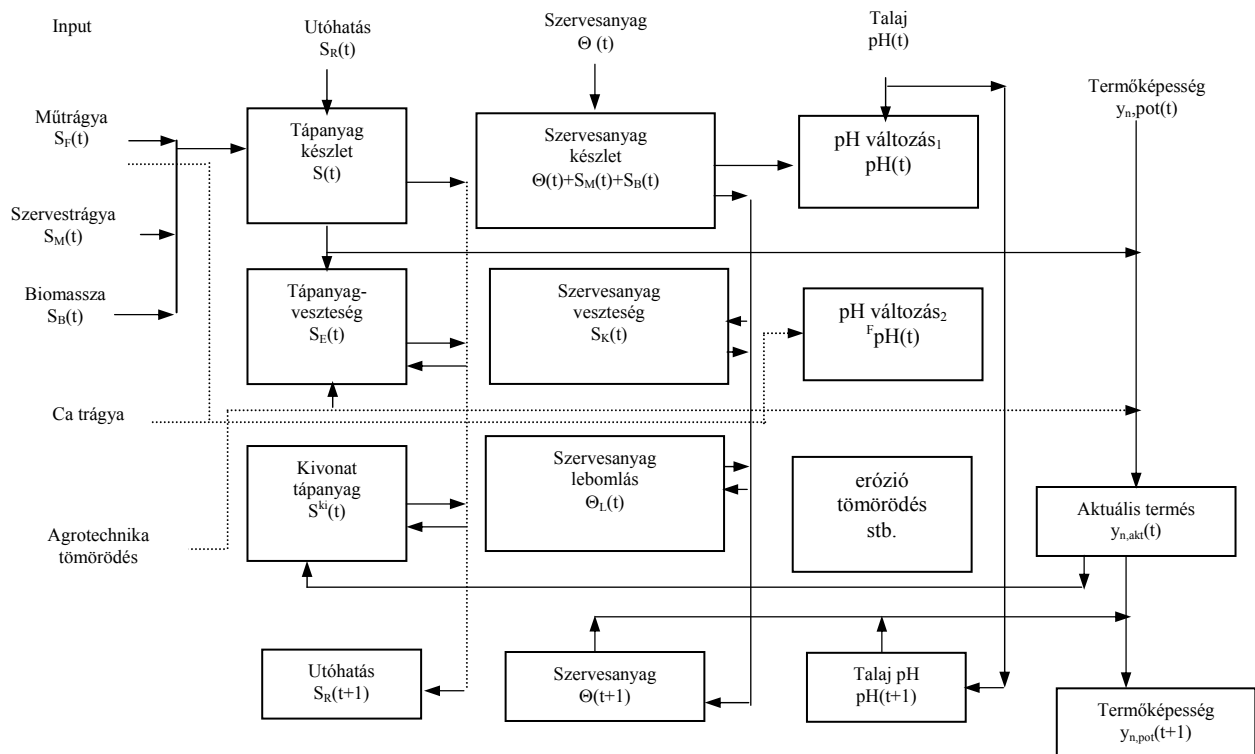
A termelési folyamat végén nem csak a gazdasági év mérlegének a megvonásának a lehetőségét biztosítja, hanem a termőhely állapotát tekintve a következő termelési ciklus inputját is. A modellezésnek e pontban van meghatározó szerepe. Ha szimulálni tudjuk az alkalmazott agrotechnika függvényében a termőhely állapotváltozását, akkor a mérések mellőzhetők, s csak bizonyos időszak eltelte után kell ellenőrző méréseket végezni, s a modellek paramétereit validálni.

A szimuláció alapvetően két paramétercsoportra terjed ki:

- tápanyagellátás,
- degradációs folyamatok.

A tápanyagforgalom szimulációjával folyamatosan képet nyerhetünk az aktuális tápanyag mérlegről, míg a degradációs folyamatok szimulációja eszköz a környezetkímélő gazdálkodási tervezéshez. (Harnos Zs. 2004a)

A tápanyagellátás – termőhely – termés dinamikus kapcsolatrendszerét szemlélteti az 5. ábra.



5. ábra Termőhelyi adottságok a t -edik évben

A mérleg egyes elemeinek a meghatározása szimulációs modellekkel, illetve szakértői becsléseken alapul.

Fenntartható gazdálkodás

A mezőgazdaságban, s tágabb értelemben minden, a környezetgazdálkodással összefüggő területen alapvető célként fogalmazzák meg a **sustainability**-re való törekvést, s e célt figyelembe véve dolgozzák ki a gazdálkodási **stratégiát**, s használják fel racionálisan a lehetséges **inputokat**, azaz **vezérlik** a rendszer működését. (Harnos Zs. 2003d., 2004b.)

Az egyik legvitatottabb fogalom a sustainability, aminek egy lehetséges definíciója „world conservation strategy should include management of the use of a resource so it can meet human demands of the present generation without decreasing opportunities for future generations.”

NRC Board on Agriculture, Managing Global Genetic Resources: Forest Trees, National Academy Press, 1991.

A kulcsszava e definíciónak az „opportunity”, amit értelmezhetünk statikusan is, azaz a jövő generáció ugyanazt a termelési szintet érheti el, mint a mai, vagy dinamikus, azaz a fejlettebb genetikai és agrotechnikai eszközök kihasználásának a feltételei legalább olyanok lesznek, mint napjainkban, azaz a termelési szint növekedni fog. (A genetikai és agrotechnikai fejlődés kompenzálni tudja a termőképesség csökkenését)

Ez utóbbi az elfogadható, s olyan modellt kezdtünk el fejleszteni, amellyel ezt mérni, szabályozni lehet.

Tekintsük a növénytermesztést meghatározó elemeknek az 1. ábrán bemutatott rendszerét.

E rendszerben három lényeges modul van:

- az agroökológiai környezet hatása a termelésre,
- ökonómiai döntési modell az agrotechnika választására,
- az agrotechnika visszahatása a környezeti feltételek alakulására.

A gyakorlatban a termelésre vonatkozó döntést alapvetően a potenciális termőképesség és a rövidtávon várható profit határozta meg.

A termelési szerkezet és az alkalmazott agrotechnika kiválasztásánál nem játszik szerepet az, hogy azoknak milyen késleltetett hatásai lesznek a „nem mérhető” termőképességre, vagyis a döntéshozatali rendszer nem számol visszacsatolással: Ennek a döntéshozatali mechanizmusnak a rövidtávú profilérdekeltségű szemléletmódon kívül két alapvető oka van:

- nincs elfogadott dinamikus értékelő rendszere a termőképességnek,
- nehéz előre jelezni az agrotechnikai beavatkozások hosszútávú hatásait.

A termés-termőhely-agrotechnika kapcsolatát az

$$\eta = \eta(x, \xi, u)$$

valószínűségi változóval írhatjuk le.

Az $\eta = \eta(x, \xi, u)$ függvény csak a termőhelynek a hozamra gyakorolt hatását fejezi ki, s nem számol az agrotechnikának a termőföld állapotára gyakorolt hatásával. Ez a hatás rövid távon nem értékelhető, de hosszú távon mindenképpen számolni kell vele. Az agrotechnika-termőhelyi állapotváltozás kapcsolatát egy

$$x(t+1) = g(x(t), u(t))$$

függvénnyel fejezhetjük ki.

Az $\eta(x, \xi, u)$ valószínűségi változó és az $x(t+1) = g(x(t), u(t))$ függvény segítségével megadható a termőképesség megőrzés (sustainability) feltétele.

Az u agrotechnikát környezetkímélőnek nevezzük, ha annak **tartamos** alkalmazása esetén az adott termőhely termőképessége nem csökken, azaz

$$E(\eta(x(t+1), \xi, u)) \geq E(\eta(x(t), \xi, u)) \quad t = 0, 1, 2, \dots$$

ahol $x(0)$ a termőhely kiinduló állapotát jelöli és

$$x(t+1) = g(x(t), u) \quad t = 0, 1, 2, \dots$$

Célszerű a termőhelyek termőképességét kifejező $E(\eta(x(t), \xi, u))$ -t egy adott termőhely referencia növényének (pl. búza, kukorica) termésátlag függvényével helyettesíteni.

A degradációs folyamatok (erózió, szikesedés, savanyodás stb.) hatására az alap-termőképesség csökken. A csökkenést a nem környezetkímélő agrotechnikák alkalmazása váltja ki.

A degradáció hatásának a meghatározására különböző szimulációs modellek állnak rendelkezésre (CREAMS, USLE). A termőhely állapotában pozitív változás is elérhető meliorációval, amelynek terméspotenciál növelő hatása becsülhető.

A termőképesség változás rövidtávon nem értékelhető. Elméleti számítások azonban azt mutatják, hogy ha a tervezést dinamikus modellekkel írjuk le, amely számol a termőképesség változással is, akkor az ökonómiai gazdaságosság és az ökológiai racionalitás (sustainability) közelednek egymáshoz, illetve egybeesnek. E vizsgálatokból azt a következtetést kell levonni, hogy a tervezésben, gazdálkodásban alapvető szemléletváltásra van szükség, a rövid távú profitérdekeltségű gazdálkodást fel kell váltani egy hosszabb távú ökológiai – ökonómiai szemléletű tervezésnek.

Agrometeorológiai és kártevődinamikai viszonyok vizsgálata

Ez a témacsoport magába foglal statisztikai adatelemzési, modellezési, valamint módszertani-módszerfejlesztési feladatokat. A növénytermesztés hatékonyságát és sikerességét nagymértékben meghatározza az időjárás aktuális alakulása. A hőmérsékleti és csapadékviszonyok valamint a napfényes órák számának szezonális dinamikája egyfelől a termesztett növény fenológiáját és produkciós viszonyait, másfelől az agroökoszisztéma többi tagját (gyomok, kártevők, kórokozók és azok természetes ellenségei, megporzók stb.) is alapvetően befolyásolja.

A kártevő-dinamikai viszonyokat ezen kívül a korábbi évek időjárása is meghatározóan érinti. Hosszú távon a mezőgazdasági termelés és növényvédelmi technológia (termelési tapasztalatok és tudományos eredmények alapján) alkalmazkodni igyekszik a környezeti feltételrendszerhez.

Az időjárási-éghajlati változékonyság ezt az alkalmazkodási folyamatot jelentősen megzavarhatja (pl. rendhagyó időjárású évek, aszály, hideg nyár...). Az agroökológiai és kártevődinamikai vizsgálatok fontos információt szolgáltathatnak, a különböző termesztési rendszerek kockázati vizsgálataikhoz.

A növényvédelmi előrejelzés akkor lehet sikeres, ha a vizsgált növény szempontjából minél több hatóképes környezeti tényezőt (köztük meteorológiai paramétereket) vonunk be a vizsgálatba. A növényvédelmi prognosztika egyrészt a terméselőrejelzéshez hasonlóan statisztikai elemzésekre épülhet, másrészt támaszkodhat monitoring-rendszerek (pl. Országos Növényvédelmi és Erdészeti Fénycsapdahálózatok) adatsoraira. A növényvédelmi prognosztikában és a terméselőrejelzésben módszertani és modellezési kutatásokra is szükség van. Ennek keretében a prediktív hőösszegmodellek valamint növekedési modellek is alkalmazásra kerülhetnek. (Révész 2003, Ladányi –Hufnagel 2003)

A Matematika és Informatika Tanszék több területen kezdett el növényvédelmi növényegészségügyi kutatásokat, amelyek az alábbi csoportokba sorolhatók:

- Térbeli inhomogenitások kezelésének módszerei a kártevők és kórokozók vonatkozásában

A precíziós növénytermesztés alapkritériuma a mezőgazdasági táblán belüli inhomogenitások helyspecifikus kezelése. Növényvédelmi szempontból ez magában foglalja a gyomfoltok célra orientált felismerését és kezelését, a kórokozók járványterjedési dinamikájának figyelembevételét, valamint a kártevők lokális felhalmozódásának problémáit is. A kutatás

keretében a térbeli inhomogenitások időbeli viselkedésének szimulációjával foglalkoztunk (Horváth et al 2003). Ezek a munkák a táblán véletlenszerűen megjelenő (vagy a táblaszélelről frontálisan terjedő) kártevő vagy kórokozó népségek terjedési folyamatát az ökoszisztéma egyéb változásaival összhangban (préda-predátor, gazda-aparazita, növény-fitofág kölcsönhatások, szezonális dinamika figyelembevételével) kezelték.

- Populációdinamikai és fenológiai kutatások

A növényvédelmi előrejelzés módszertanában a populációdinamikai stabilitás terepi adatok alapján történő értelmezésének elsősorban a hosszú távú előrejelzésben és a gradáció-előrejelzésben van szerepe. A fenológiai történések szimulációja viszont rövid távú előrejelzés és a szignalizáció kulcsa. A fenológiai prognosztikában fontos szerepet játszanak a különféle hőösszeg-modellek is. Kutatásainkban alapvetően a hőösszegektől függő ökoszisztémák szimulációs modelljének alapjait dolgoztuk ki. (Hufnagel et al 2001, Révész 2002, Révész és Horváth 2002, Ladányi és Hufnagel 2003a,b)

- Komplex agroökoszisztémák modellezése szimulációval és gráfelemzéssel

Úgy az integrált- mint az ökológiai növényvédelem szemléletében egyre hangsúlyosabb helyet foglal el az indirekt kölcsönhatások figyelembevételének igénye. Indirekt kölcsönhatás valósul meg például a gyomnövények kártevők és kórokozók természetes ellenségeivel kapcsolatban, de a különféle talajlakó (nem kártevő) élőlények tevékenysége kapcsán is. Az indirekt kölcsönhatásokat nem lehet egymástól elszigetelten vizsgálni, komplex agroökoszisztéma szemlélet alkalmazása válik szükségessé. Az agroökoszisztéma folyamatainak elemzése történhet szimulációs modellezéssel (viszonylag kis hálózatok esetén), vagy növényvédelmi hatásgráfok elemzésével (bonyolultabb hálózatoknál). Mind szimulációs, mind növényvédelmi hatásgráfok elemzésével folytattunk módszertani fejlesztéseket. (Ladányi 2002, Ladányi és Erdélyi 2002, Ladányi et al 2003a,b, Erdélyi és Hufnagel 2003, 2004).

- Ökoszisztémák tér-időbeli monitorozása, szimulációja

A kutatás elsődleges célja az volt, hogy egységes adatkezelési és állapot-értékelési módszertant dolgozzon ki az ökoszisztémák tér-időbeli monitorozása, illetve tér-időbeli szimulációs modellezése számára. A kifejlesztésre került módszer az indirekt ordináción alapuló többváltozós stabil állapotú rendszereken alapul. (Gaál és Hufnagel 2001, Hufnagel és Gaál 2002a,b). A kidolgozott módszert ökoszisztéma-modellek kapcsán is alkalmaztuk (Ladányi et al 2003).

Az agroökológiai és cönológiai adatok vizsgálata egy meglehetősen összetett sokváltozós probléma, amelynek kezeléséhez a biomatematika és informatika eszközei elengedhetetlenek. Háromnál több változó (taxon, morfon, esetlen független abiotikus hatótényező) figyelembevétele esetén a mintázatelemzéshez többváltozós adatstruktúra feltáró módszerek szükségesek. A többváltozós adatelemzés legfontosabb módszerei az osztályozási (klasszifikációs) és a dimenzió redukáló (ordinációs) eljárások. Az állapotok minél pontosabb leírása és az összefüggések feltárása annál több eredménnyel kecsegtet, minél nagyobb, részletgazdagabb, pontosabb adatbázisokat tudunk felállítani. Csakhogy minél kiterjedtebb az adatbázis (úgy az objektumok, mint a változók szempontjából), annál kevésbé áttekinthetőek a benne tükröződő jelenségek. A mintázatelemzés egyik kulcsa nyilvánvalóan a sokváltozós dimenzióredukáló módszerek használatában rejlik. Az osztályozási eljárások inkább az

ordinációk ellenőrzésére és a kapott redukált dimenzionalitású mintázatokban való további tájékozódás elősegítésére alkalmasak.

Az általánosan ismert és használt ordinációs módszerek alkalmazása azonban nagy adattömeg esetén gyakran jelentős akadályokba ütközik, különösen, ha a monitoring és a szimuláció adatsorainak együttes felhasználása a cél (Gaál és Hufnagel 2001). A felmerülő problémák az alábbiakban sorolhatók fel:

- a többváltozós dimenzióredukáló módszerek korlátozott kapacitása.
- a jól használható elemző algoritmusok többségének futási esetlegességei.
- az újabb objektumok problémája, amelyek monitoringból vagy szimulációból is származhatnak,
- az előzővel szorosan összefügg az adatok megbízhatóságának problémája,
- problémát jelenthet magának a mintavételi hálónak a torzítottsága is, ,.
- Szükség lehet újabb, vagy a korábbiakból származtatott változók vizsgálatára is,.
- Végezetül, ha az eddigiektől eltekinthetnénk is, még mindig problémát jelentene az, hogy a nagy mennyiségű objektum, még a redukált dimenzionalitású térben (síkban) is áttekinthetetlen sűrűségű pontfelhőt eredményezne, tehát az alternatív megjelenítés lehetőségét biztosítani kell egyazon mintázaton belül is.

Mindezen problémák kiküszöbölésére dolgoztuk ki az indirekt ordináción alapuló többváltozós stabil állapot-sik-rendszerek módszertanát. (Hufnagel-Gaál 2005, Sipkay et al 2005)

A stabil állapot-síkok módszerének lényege a következőkben foglalható össze:

A hagyományos többváltozós mintázatelemző (adatstruktúrafeltáró) algoritmusokkal végrehajtott közvetlen dimenzióredukáló lépés (tehát a továbbiakban direkt ordináció) nem a vizsgálandó objektumokra, hanem az attribútum dualitás elvének megfelelően a változókra vonatkozóan történik. A tényleges objektumok ordinációját indirekt módon, tehát a változók koordinátái segítségével, külön lépésben készítjük el. Ennek legegyszerűbb módja lehet, ha az objektum indirekt ordinációban elfoglalt helyének koordinátáit a benne előforduló változók koordinátáinak valamilyen függvényét (átlagát, súlyozott átlagát, összegét stb.) választjuk. A változók koordinátáinak meghatározásához végzett direkt ordináció nem a teljes adatsorra, hanem egy erre a célra összeválogatott és erősen szűrt ún. referencia adatbázisra vonatkozik, amelyet módunkban áll tökéletesen áttekinteni és megismerni. A változók közötti valós viszonyokat csak ennek a referencia adatbázisnak kell jól tükrözni, a későbbi adatok ezt már nem képesek befolyásolni, megoldva ezzel a megbízhatósági problémát is. Ha az objektumok koordinátáit már kiszámoltuk, ezzel az indirekt ordináció elvileg adott, de értelmezéséhez és többcélú használatához az alternatív megjelenítés és ábrázolás funkcióit is biztosítani kell. Ehhez az adatbáziskezelés és grafikus megjelenítés informatikai módszereit egyesítő térinformatika (GIS) biztosít lehetőséget, megoldva ezzel a célkitűzésünk utolsó pontjában említett feladatot is.

Növényvédelmi kutatások

A megváltozó klímának a kukorica-ökoszisztéma növényvédelmi helyzetére gyakorolt hatása több szempontú komplex értékelést igényel, amiben az alábbi főbb komponensek figyelembevétele szükséges:

1. A megváltozó klíma, a meglévő (jelenleg fellépő vagy a múltból ismert) károsítók közül melyekre gyakorol kedvező és melyekre kedvezőtlen hatást. (Azaz a meglévő

- károsítókkal kapcsolatban milyen kártételi veszélyhelyzetek fordulnak elő gyakrabban, melyek ritkábban?)
2. A megváltozó klíma hatására, hogyan változnak meg a jelenleg ismert károsítók fenológiai és szezonális-dinamikai mintázatai? (Fenológiai események korábbra vagy későbbre tolódása.)
 3. A megváltozó klíma hatására milyen új veszélyforrásokkal kell számolni? (Korábban nálunk nem jellemző károsítók.)

Ezen tényezők a valóságban együttesen és egymással is kölcsönhatásban fognak fellépni, továbbá mindezekre olyan változások (gazdasági folyamatok, fajtaváltás, agrotechnika stb.) is hatással lesz, ami részben még a klímától is független. A folyamatok ilyen komplex modellezése egy lépésben nem lehetséges.

Kutatómunkánk során úgy jártunk el, hogy a fentiekben feltett kérdésekre először külön-külön próbálunk válaszokat keresni, úgy, hogy közben a többi jelenséget változatlanul tekintjük. Az így kapott eredmények integrálása egy későbbi lépésben történik, amikor a változások főbb irányairól külön-külön már képet kaptunk.

I. Az első problémakör vizsgálata céljából szakirodalmi adatgyűjtés segítségével létrehoztunk egy károsító-klíma adattáblázatot, amely a különböző károsítókról ismert klimatikus igényeket tartalmazza. Ezen szakirodalmi adatok többnyire általános jellegű szöveges megállapítások, így ezeket a vizsgálatok céljára számszerűsíteni kellett. Ennek céljából vezettük be az ún. „klimatikus profil indikátorokat”. A havi klimatikus profil indikátorok 12 hónap havi átlaghőmérsékletei és csapadékösszegei (egyes esetekben ezt kiegészítő más meteorológiai paraméterei) alapján 24 (vagy annál több) intervallumot határoznak meg, amelyek az adott károsító számára kedvező klimatikus állapotokat határozzák meg, együttes teljesülés esetére. Ezen havi klimatikus profil indikátorok alapján megvizsgáltuk, hogy a különböző scenáriók, különböző futtatási adatsoraiban milyen gyakran fordulnak elő a károsítónak kedvező évek és ez hogyan viszonyul a historikus adatsorok hasonló gyakoriságaihoz képest. Ez a megváltozó kockázati viszonyok értékeléséhez nyújt információt. **Megállapítottuk, hogy egyes scenáriók esetén a kockázati viszonyok, a historikus adatsorokhoz képest jelentős mértékben átrendeződnek.** (Feltéve, hogy a többi tényező nem változik oly módon, hogy az kompenzálná ezen hatásokat.)

II. A második jelenségkör vizsgálata céljából hőösszeg-modelleket illesztettünk a historikus fénycsapda és meteorológiai adatsorokhoz, majd az így illesztett modellek viselkedését vizsgáltuk a scenáriók esetére. **Megállapítottuk, hogy egyes károsítók modelljei egyes scenáriók esetén akár 2 hét-1 hónap közötti korábbra tolódásokat is okozhatnak fenológiai és szezonális-dinamikai (esetünkben főképp rajzásdinamikai) jelenségek esetében.**

III. A harmadik jelenség megközelítésére több lehetőség is kínálkozik. Mi első lépésben a földrajzi analógiák módszerével vizsgáltuk, hogy milyen mértékű faunaváltozással kell számolnunk az egyes scenáriók esetében. Megállapítottuk, hogy a jelenleg leginkább elfogadott nemzetközi klímascenáriók szerint a hazánk jövőbeli klímájával leginkább analóg területek Románia déli és Bulgária északi részére (nagyraoszt a Duna-völgyére) esnek. Ezen a területen jelenleg természetnek kukoricát, bár nagyon eltérő módon és feltételek mellett (más fajtákról és más agrotechnikáról van szó). **Megállapítottuk, hogy ez a változás hazánk Lepidoptera faunáját a következő mértékben és módon érintené** (Hufnagel et al 2006):

- Az általunk vizsgált scenariók bekövetkezése esetén ennek hatása a magyar Lepidoptera fauna **55-81%-át** nem érintené.
- A mai fauna vesztesége fajokban **19-45%** közötti lehet maximálisan, ezek nagyrészt északias elterjedésű fajok.
- Ugyanakkor az új fajok megjelenésére maximálisan a mai lepkefauna mintegy **19-36%-át** kitevő mértékben számíthatunk, ezen fajok areája jellemzően délkeleti jellegű.