

Folyamatszempléleti lehetőségek az agro-ökoszisztémák modellezésében

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Ladányi Márta

Témavezető:

Dr. Harnos Zsolt, MHAS, egyetemi tanár

BCE, Kertészettudományi Kar, Matematika és Informatika Tanszék

Szakmai konzulens:

Dr. Hufnagel Levente, PhD, egyetemi adjunktus

BCE, Kertészettudományi Kar, Matematika és Informatika Tanszék

**Budapesti Corvinus Egyetem
Matematika és Informatika Tanszék
2006**

A doktori iskola

megnevezése: Tájépítészet és Döntéstámogató Rendszerek

tudományága: Agrártudományok

vezetője: Prof. Dr. Harnos Zsolt, MHAS, egyetemi tanár
BCE, Kertészettudományi Kar, Matematika és Informatika Tanszék

Témavezető: Prof. Dr. Harnos Zsolt, MHAS, egyetemi tanár
BCE, Kertészettudományi Kar, Matematika és Informatika Tanszék

Szakmai konzulens:

Dr. Hufnagel Levente, PhD, egyetemi adjunktus
BCE, Kertészettudományi Kar, Matematika és Informatika Tanszék

I. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

A napjainkban már folyamatban lévő klímaváltozás általános mikéntjének és következményeinek alapelveiben többé-kevésbé egységes a kutatók álláspontja. Egy-egy kisebb, speciális régióra vonatkoztatva azonban a részletek már jelentős eltéréseket mutathatnak. Korunk sürgető feladata, hogy a klímaváltozással együtt élve egyrészt jól működő leíró-előrejelző rendszereket alkossunk, másrészt meghatározzuk a megváltozott körülményekre való optimális felkészülési-válaszadási stratégiákat. Dolgozatunkban e témában három, egymással összefüggésben álló feladat egy-egy megoldását mutatjuk be.

A. Egy agro-ökológiai táplálékhálózati rendszer populációdinamikai biomasszamodellje

A környezetvédelem és az optimális gazdálkodás összehangolása céljából a növény-időjárás-kártevő rendszert mint komplex ökoszisztémát vizsgáltuk. Ezzel összhangban egy egyszerűsített táplálékhálózatnak egy olyan szezonális populációdinamikai modelljét fejlesztettük ki, amelyben a teljes agro-ökoszisztémára gyakorolt külső hatásokat és a populációk közötti kölcsönhatásokat is vizsgálni tudjuk. Biomassza alapú modellünkben elsősorban az időjárás szezonális mintázatát, valamint a rendszerben rejlő biotikus kölcsönhatásokat kívántuk figyelembe venni. Az analitikus rendszert napi léptékű determinisztikus differenciaegyenlet-rendszer segítségével írtuk fel.

B. Fenológiai modell

A növénytermesztés jövőjének kutatása egyszerre kívánja meg az egyre specifikusabb és az általános modellek tervezését, illetve azok alkalmazható formában való megalkotását. A kártevő-populációk, illetve a kártevők fejlődésmenetének (fenológiájának) térbeli és időbeli dinamikus modellezésének intenzív kutatása a precíziós növényvédelem egyik kulcsfontosságú eleme. Második modellünk segítségével egy ökológiai rendszer egyes populációinak napi biomasszamenyisége, a napi időjárás adatok és a populációk fenológiai és más biológiai tulajdonságai alapján a populációk egyes fenofázisainak napi egyedszámát határozzuk meg. A szimulációs modell paramétereit négy budapesti csipkésposzka-populáció (*Corythuca ciliata*, Say 1832, *Heteroptera: Tingidae*) adataival kalibráltuk. A nemzetközileg leginkább elfogadott időjárás scénáriók alapján vizsgáltuk a klímaváltozásnak a rovarpopulációkra gyakorolt hatását is.

C. A kukorica- és búzatermesztés kockázatának vizsgálata

A kockázatot több szempontból lehet megközelíteni, attól függően, hogy milyen a kockázatban résztvevő személyek szerepe a kockázatban. A kockázatelemző szakembereknek ma az a feladata, hogy az információs és elektronikus lehetőségeket, a tudományos kutatási eredményeket és a fejlett technológiák által nyújtott előnyöket kiaknázva meggyorsítsák a döntéstámogatás alkalmazásának elterjedését, és kialakítsák a tanácsadás könnyen hozzáférhető rendszerét.

A kockázatelemzés és a matematikai modellezés szoros összefüggését felismerve munkánk harmadik céljaként a kukorica- és búzatermesztés kockázatának vizsgálatát tűztük ki. Igazolni kívántuk, hogy

1. Magyarországon az említett szántóföldi növények termesztésének kockázata az 1950-től 1990-ig terjedő időszakban a döntéshozóknak a kockázatvállaláshoz való viszonyának (*risk aversion*) mértékétől majdnem teljesen függetlenül emelkedett.
2. A kockázat emelkedése egyes helyeken jelentős.
3. A kockázatonövekedés üteme helyenként gyorsult is.

A dolgozatban az új eredmények bemutatásán kívül a témában igen szerteágazó, Magyarországon még kevésbé elterjedt és a kutatás során sokat használt szakmai háttérrel is megfelelő részletességgel közöljük.

III. ANYAG ÉS MÓDSZEREK

1. Anyag

Platánfa- és csipkésposloska-populációegyüttesek

Munkánk során négy budapesti platánfa–csipkésposloska- (*Platanus hybrida* és *Corythuca ciliata*) populációegyüttes megfigyelt adatainak segítségével végeztük az elméleti modellünk értékelését. A platánfán élő csipkésposloskát már őshazájában, Észak-Amerikában is a platánfajok kártevőjeként ismerték. A rovar a fák levelének fonákján csoportosan szívogat. Jelenleg Budapest parkfáinak egyik legveszélyesebb, és kártételét tekintve évről évre egyre súlyosabb ellensége. A faj kiválasztását annak igen kedvező ökológiai tulajdonságai is indokolták.

Időjárási adatok

A modellezéshez használt napi középhőmérséklet adatok az OMSZ megfigyelő hálózatának adatbázisából valók, melyben megyei és agro-ökológiai körzetenkénti feljegyzések szerepelnek.

Szenáriók

A fenológiai modellünket szenáriók által előírt napi átlaghőmérsékletekre is futtattuk. Munkánk során az IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) által lefektetett alapelvek szerint készült, általánosan elfogadott szimulációs klímaszenáriókat használtuk, továbbá az ezek alapjául szolgáló BASE nevű, a mai feltételekkel szimulált szenáriót. Ezek:

- a *Hadley Intézet* által készített GCM-ek: UKLO, UKHI és UKTR és
- a *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory* (USA.) által közrebocsátott GFDL2535 és GFDL5564 szenáriók.

Eredményeinket a 30 éves szenáriók igen jellemző középső, 15. évére mutatjuk be, melyek körülbelül a 2050. esztendőt reprezentálják. A szenáriók adatainak a magyarországi régiókra érvényes leskálázása a CLIVARA (*CLimate Change, Climatic VARIability and Agriculture in Europe*) project keretében készült.

Megyei terméseredmények

Kockázatelemző munkánkhoz a kukorica és búza megyei hektáronkénti átlagterméseit az *Agro-ökológiai Integrált Információs Rendszerből* (AIIR) (Gerenday et al., 1991) vettük.

2. Módszerek

Modellezés

Az agro-ökoszisztémák kölcsönhatás-rendszerének gerincét az abban szereplő élőlény-populációk táplálkozási hálózata adja. A táplálkozási hálózat számos olyan indirekt vagy rejtett kölcsönhatást is magában foglal, amelyek nem közvetlenül anyagáramlási jellegűek. Ilyen például a táplálékért való versengés (kompetíció), a közös predátortól való menekülésből, illetve az ellene való védekezésből eredő indirekt kölcsönhatások, valamint a trofikus kaszkádnak is nevezett „top-down” és „bottom-up” regulációk stb. Az ökoszisztéma kölcsönhatási hálózatának

jó közelítést kaphatjuk, ha a táplálkozási hálózatot a legfontosabb abiotikus hatásokkal (meteorológiai és talajtani faktorok) egészítjük ki.

Munkánk első lépésében egy táplálékhálózati rendszer populációdinamikai modelljét írtuk fel. A modell egy determinisztikus diszkrét differenciaegyenlet-rendszeren alapul, melynek egyes egyenletei a vizsgálatba bevont paraméterek napi változásait írják le. Az általános egyenlet három fő tényezője a hőmérséklettől függő biológiai aktivitást, a táplálékellátottság hatását és a predációs hatást írja le. Az eredményeket az egyes populációk biomasszamennyiségében fejezzük ki.

Modellünk fiziológiai és analitikus modell, melynek kifejlesztésekor nem a választott táplálékhálózat egyes részfolyamatainak pontos leírására törekedtünk, hiszen egyrészt arra a szakirodalomban számos igen kiváló részmodellt ismerünk, másrészt a gyakorlatban az azokhoz szükséges adatok és paraméterek legtöbbször úgyszemint állnak rendelkezésünkre. Ehelyett igyekeztünk a leglényegesebb hatások kiemelésével a rendszer egészét a lehető legpontosabban leírni annak érdekében, hogy adathiányos szituációkban is jól használható legyen, de ugyanakkor kedvezőbb szakmai körülmények között, sokrétűbb input birtokában lehetőséget biztosítson igényesebb elemek beiktatására.

Második lépésként az általános modellt négy csipkésposloska-populációra alkalmaztuk. Modellünket *MS Excel*® formátumban készítettük, amely annak felhasználását széles körben alkalmassá teszi. A modell paramétereit négy csipkésposloska-populáció (*Corythuca ciliata*) 1989, 1998 és 1999 évi adatainak felhasználásával határoztuk meg optimalizálással, az *MS Excel*® *Solver* segítségével.

Kockázatelemzés

A rendelkezésünkre álló megyei kukorica terméseredmény adatokat nemlineáris (logisztikus) regresszióval illesztettük. Ezután a *Phillips*-módszerrel, *MS Excel*® programmal tettük azokat összehasonlíthatóvá. Szakértői becslések alapján a háromszög-eloszlás módszerével kiszámoltuk a termés szubjektív várható értékét és szórását (E_s , D_s). A negyvenéves adatsorra illesztett (logisztikus) 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. (A logisztikus illesztést esetünkben az illeszkedés minden tekintetben (R^2 , ANOVA, együtthatókra vonatkozó t -értékek) való jóságán túl az 1970-73 között végbemenő nagyfokú technológiaváltás is indokolta.) 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 körülményeiben közelítőleg megegyeznek az i indexű évvel. (Nyilván $\sum_i p_i = 1$) 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 $D(Y_i) = D_s$.)

A szubjektív eloszlásfüggvényeket szakértői becslések alapján állítottuk elő.

Mivel munkánk során a személyes kockázati averziót nem állt módunkban megismerni, az általánosan elterjedt $U : w \mapsto 1 - \exp(-cw)$ 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 ($r_r(w) = cw$).

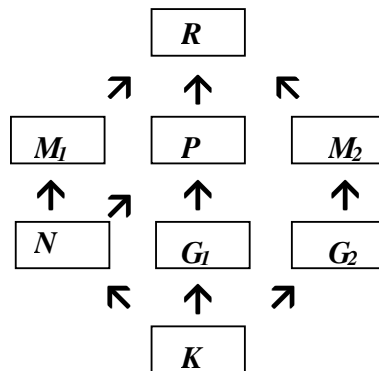
A hatásossági kritériumok közül a szubjektív eloszlásfüggvényekre épülő sztochasztikus dominancia, az E, V -hatásossági és a hasznossági függvényen alapuló kritériumokat használtuk, de az ezekből kapott eredményekkel nem elégedtünk meg. A kockázat mértékének növekedését végül az általánosított sztochasztikus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

IV. EREDMÉNYEK

A. Egy agro-ökológiai táplálékhálózati rendszer populációdinamikai biomasszamodellje és szimulációja

1. A modell általános leírása

Modellünk kidolgozásához egy szélsőségesen leegyszerűsített modellszituációt vizsgáltunk (ld. az ábrát). A modell legalsó szintjén szerepel a talaj, mint víz- és tápanyagforrás input (K), az e fölötti trofikus szinten egy kultúrnövény (N), két gyomnövény (G_1 és G_2), továbbá feljebb egy monofág kártevő (M_1), mely a kultúrnövényünket pusztítja, egy másik monofág kártevő (M_2), mely az egyik gyomnövényvel táplálkozik, egy polifág kártevő (P), mely a kultúrnövényt és az egyik gyomot is pusztítja, továbbá legfölül egy kártevőkkel táplálkozó ragadozó (R).



Egy táplálékhálózati modell. A talaj (K), a kultúrnövény (N), a gyomok (G_1 és G_2), a monofág (M_1 és M_2) és a polifág (P) kártevők, illetve a ragadozó (R) kölcsönhatásai. Az ábrán szereplő nyilak a tápláléktól a fogyasztó felé mutatnak.

Modellünk lényegében a táplálékhálózatban szereplő egyes populációk biomasszájának dinamikus változásait, illetve az elemek kölcsönhatásait írja le.

2. A táplálékhálózat populációdinamikai modellje

A táplálékhálózatban szereplő kölcsönhatásokat leíró modellben hét differenciaegyenletet írtunk fel, melynek mindegyike a táplálékhálózat egy-egy elemének napi változását írja le. A differenciaegyenletek általános alakja:

$$X_{t+1} = X_t \cdot R_{X,t} \cdot P_{X,t} \cdot F_{X,t}$$

ahol X_{t+1} és X_t jelöli az N , G_1 , G_2 , M_1 , M_2 , P , illetve R populációk valamelyikének $(t+1)$ -edik és t -edik napi biomasszamennyiségét (tömeg mértékegységgel), $R_{X,t}$ jelöli az X egyedre jellemző, a t időpontban keresztül a T napi középhőmérséklettől függő ún. aktivitási tényezőt, $P_{X,t}$ jelöli az egyenlet ún. predációs tényezőjét, $F_{X,t}$ pedig az ún. táplálékmenyiségtől függő tényezőt. A továbbiakban röviden ismertetjük az általános egyenlet tényezőit.

Az aktivitási tényező

Az aktivitási tényező egy olyan függvény, mely adott napi középhőmérséklethez az 1 szám körüli, az egyedre jellemző valamely értéket rendel hozzá. Optimális napi átlaghőmérséklet esetén értéke egynél nagyobb, maximális. Az R_X függvény értékkészlete (a hazánkban mérhető középhőmérsékleti tartományt értelmezési tartománynak tekintve) egy, az 1 szám körüli szűk intervallum pontjaiból kerülnek ki, mely azt fejezi ki, hogy az egyed számára kedvezőtlen napi középhőmérséklet esetén $R_X < 1$, azaz az általános differenciaegyenletben szorzótényezőként szereplő R_X függvény csökkenti a biomasszatömegét, kedvező napi középhőmérséklet esetén az R_X függvény értéke kicsivel 1 fölött lesz, azaz segíti a biomasszanövekedést.

A predációs tényező

A P_X -szel jelölt ún. predációs tényező a vizsgált populáció biomasszaváltozásának jellemzőit írja le. Amennyiben minden egyéb körülményt rögzítettnek tekintünk:

- A táplálékpopulációt fogyasztó táplálkozópopuláció biomasszájának növekedtével a táplálékpopuláció biomasszája lassuló ütemben fogy (a táplálékszerzés egyre nehezebbé válik), határértékben a táplálékpopuláció kipusztulásáig (zérusig), de a táplálékpopuláció fogyása a táplálkozópopuláció táplálékának korlátozó tényezője is egyben, mely a táplálkozópopuláció biomasszáját kevésbé növeli, vagy akár csökkentheti is. (A táplálék fogy, a táplálkozópopuláció forrása egyre korlátozódik.) A táplálkozópopuláció biomasszájának csökkenésével azonban a táplálékpopuláció biomasszájának változása a zérus felé tart. (Kisebb intenzitású fogyasztás a táplálékpopulációnak a fogyasztás okán való csökkenésének sebességét lassítja, akár meg is állítja.) A vázolt hatások együttesen jelentkeznek, erősségüktől függően valamely eredő hatást eredményezve.
- Ha a táplálékpopulációt fogyasztó táplálkozópopuláció a szóban forgó táplálékpopuláción kívül más populációkat is fogyaszt, akkor az egyrészt pozitív hatású a táplálékpopuláció számára (amíg a másikkal lakik jól, ezt nem fogyasztja), másrészt a másik táplálékpopuláció, mint tápláló hatás, növeli a táplálkozópopuláció biomasszáját, ami a következő lépésben a táplálkozás intenzitásának növekedésével jár (késleltetett negatív hatás, mely egyaránt hat az előző lépésben pozitívan és negatívan befolyásolt táplálékpopulációkra). Itt is elmondható, hogy az egymással ellentétes hatások erősségüknél fogva egy lépésben együttesen egy hatáseredőt eredményeznek.

A fenti összefüggéseket felismerve láthatóvá válik, hogy a táplálékhálózat kölcsönhatásai egy igen bonyolult rendszerben függenek össze. A modell konstrukciójánál mindvégig törekedtünk arra, hogy a lehető legegyszerűbb modellel a lehető legpontosabban kövessük a vázolt, véleményünk szerint legfontosabb jellemzőket.

A táplálékmenyiségtől függő tényező

Az F_x ún. táplálékmenyiségtől függő tényező az egyedek alábbi biológiai tulajdonságainak a modellben való megjelenését hivatott szolgálni:

(i) Bőséges táplálékforrás esetén az egyed biomasszája (minden egyéb körülményt optimálisan rögzítettnek tekintve) egy rá jellemző maximális mértékben gyarapszik (K_x jelölje az egyed maximális szaporodási rátáját), azaz az egyed testtömege növekszik és/vagy szaporodik.

(ii) A táplálékellátottság csökkenésével a táplálékmenyiségtől és egyedre jellemző módon kevésbé gyarapszik, illetve csökken az egyed biomasszája.

(iii) Ha a rendelkezésre álló táplálékmenyiség az éppen szükségeset közelíti, akkor a biomasszatömege lényegében nem változik ($F_x \approx 1$).

(iv) Ha a táplálékellátottság az elviselhetetlenségig csökken, az egyed tömege csökken, végül elpusztul.

(v) Ha az egyed olyan táplálékot fogyaszt, melyért egy másik egyeddel versengésben áll, akkor a biomasszaváltozást befolyásolja a másik egyed biomasszamennyisége, (illetve az ezzel arányos táplálkozási intenzitása), továbbá egyéb, a versengő egyedek táplálékfogyasztását, illetve a táplálék tápanyagmennyiségét kifejező súlyozó paraméterek. A táplálékpopuláció biomasszájának változását a populációt fogyasztó táplálkozópopulációk közösen okozzák (additív hatás, ahol az additív tagok a versengésben álló populációk biomasszájának arányát követik).

(vi) Ha az egyed többféle táplálékot is fogyaszt (polifág, ragadozó), akkor az egyes táplálékpopulációkból a táplálék biomasszájának és tápértékének megfelelő arányban fogyaszt.

3. Egy esettanulmány

A vázolt modell egy alkalmazását a Debrecenben mért napi középhőmérséklet értékekből és a táplálékhálózat egy fiktív, de arányaiban egymásnak megfelelő K_0 , N_0 , G_{1_0} , G_{2_0} , M_{1_0} , M_{2_0} , P_0 , illetve R_0 kiinduló értékekkel állítottuk elő. A modell egy- és ötéves szimulációs eredményeit az 1980., illetve az 1980-84. években mért napi adatok alapján vizsgáltuk.

B. A fenológiai modell

1. Bevezetés

Az előzőekben ismertetett modell egy egyszerű táplálékhálózat egyes populációinak biomasszadinamikáját írja le. Természetszerűen vetődik fel a kérdés, hogy vajon a pusztán mennyiségi változások ábrázolásán kívül egy ökológiai rendszer biotikus és abiotikus kapcsolatban álló populációinak szezonális minőségi változásainak dinamikáját, fenológiai menetét is tudjuk-e modellezni. Az általunk kidolgozott modell egy egyszerű ökológiai rendszer egyes populációinak napi biomasszatömegéből kiindulva a populáció biológiai tulajdonságainak ismeretében meghatározza a populáció egyedeinek fejlődésmenetét, az egyes fenofázisok megjelenési és eltűnési idejét, az egyes fázisokban az aktuális egyed tömeget és az egyedszámot.

2. Az R_t aktivitási tényező és a $\sum_{i \geq t_s} R_t^{Ph}$ kumulált aktivitás

Az R_x aktivitási tényező értéke a t időn keresztül a T napi középhőmérséklettől függ, és azt fejezi ki, hogy egy populáció egyedei számára bizonyos középhőmérsékleti értékek milyen (pozitív vagy negatív) hatással vannak. Ha azonban a populáció mennyiségi (biomasszatömeg) változásán kívül figyelembe szeretnénk venni annak minőségi (fenológiai) változásait is, akkor

észre kell vennünk, hogy ugyanaz a középhőmérséklet ugyanannak a populációnak más-más fenofázisában eltérő hatása lehet. E finomabb hatás ábrázolása céljából a hőösszegszámítás igen elterjedt módszerének ötletét általánosítva bevezettük az X populációra az ún. kumulált aktivitás fogalmát. A $\underset{t \geq I_s}{cum} R_t^{Ph}$ kumulált aktivitás a t időtől és a Ph éppen aktuális fenológiai fázistól függ, mértékegysége $^{\circ}C$. A $\underset{t \geq I_s}{cum} R_t^{Ph}$ kumulált aktivitás értékeit egy SW_t^{Ph} karakterisztikus függvény segítségével határozzuk meg, mely adott t időpontra Ph fennállása esetén 1, ellenkező esetben zérus értéket vesz fel.

$$SW_t^{Ph} = \begin{cases} 0 & , \text{ha } Ph \text{ igaz} \\ 1 & , \text{ha } Ph \text{ hamis} \end{cases}$$

Ezt úgy értjük, hogy ha abban a t időpontban a populációban van Ph fázisú egyed, akkor a karakterisztikus függvény értéke 1. Ehhez azonban előzőleg feltesszük, hogy a populáció fenofázisai diszkrét módon követik egymást, azaz az egyik fenofázisból a másikba való áttérés a teljes populációra egy időpillanat alatt történik, a teljes populáció mindig egyetlen fenofázist képvisel. (E feltételt a későbbiekben elhagyjuk, azonban a konstrukcióhoz átmenetileg szükségünk van rá.)

3. Az SSW_t^{Ph} simított karakterisztikus függvény

Ebben a lépésben elhagyjuk az előbb említett korlátozó feltételt, és az SW_t^{Ph} karakterisztikus függvény mellett bevezetjük az SSW_t^{Ph} , ún. simított karakterisztikus függvény fogalmát. Ennek segítségével fejezzük ki, hogy a populációban a fenofázisváltás hosszú folyamatként megy végbe, és egyszerre több fenológiai fázisú egyed képviselteti magát. Abból indulunk ki, hogy minden fenofázishoz adható egy feltétel, melynek teljesülésekor a fázisváltás megindul, és egy másik feltétel, melynek teljesülése esetén a fázisváltás teljes mértékben megtörtént (illetve az át nem alakult egyedeket a fázisváltás mortalitási rátájához számítjuk). Feltételezzük továbbá, hogy a két időpont között az átalakulás folyamatos.

Az SSW_t^{Ph} függvény megadja egyes fenofázisok első belépési és utolsó kilépési időpontját, valamint a tetőzódések idejét is. Az egy időponthoz, de különböző fenofázishoz tartozó simított karakterisztikus függvények értékei a fenofázisok populációbeli biomasszaarányát fejezik ki.

4. A fenofázisonkénti egyedszám (NoI_t^{Ph})

A fenofázisonkénti egyedszámfüggvény az egyes fejlődési szakaszban lévő egyedek egyedszámát határozza meg egy t időpontban az aktuális biomasszamennyiség alapján. Tulajdonságai:

1. Szaporodásra nyilvánvalóan csak az imágók képesek (pontosabban I_1 és I_2 , mert I_3 telelőre vonul, és a következő évben ez a nemzedék képviseli az I_1 populációt). A populáció összegyedszáma ezért egyetlen t időpillanatban sem növekedhet, kivéve a $Ph = L_{t_i}$ ($i = 1, 2$) fázisba való átmenet során. (A szaporodást ebbe a lépésbe építjük be.)
2. A Ph fázisból a $Ph+1$ fázisba való átmenet során a Ph fenofázisú egyedek száma fokozatosan zérusig csökken, míg ezzel egyidőben a $Ph+1$ fenofázisú egyedek száma fokozatosan növekszik.
3. A fenofázisváltások adott arányú mortalitással járnak.
4. Az imágótól eltérő Ph fázison belüli biomasszaváltozás oka kétféle lehet:

- az egyedek összömege változik (az egyedek fogyása vagy hízása következtében csökken vagy nő)
- az egyedek száma csökken (mortalitás és/vagy fázisváltás következtében).

Az első esetben az egyedszám nem változik, a második esetben a Ph fenofázisú egyedek száma csökken, míg a $Ph + 1$ fenofázisú egyedek száma növekszik.

Ha összevetjük a tapasztalati levelenkénti átlagos lárva és imágó-egyedszám adatokat a modell által előírt értékekkel, akkor azt tapasztaljuk, hogy az amúgy ennél jóval több, (alig, vagy egyáltalán nem mérhető) információt is magában hordozó modell jól illeszkedik a tapasztalati megfigyelésekre, több szempontból is. Jól nyomon követhető a kétnemzedékes görbén, hogy az első nemzedék levelenkénti egyedszáma jóval alacsonyabb a második nemzedékétől, s a tetőzések idejét, nagyságát és hosszát is pompásan közelíti a modell.

5. A csipkésposloska várható fenológiai mintázata a klímaváltozási scenáriók tükrében

Hat kiválasztott klímaváltozási scenárió (Basic, GFDL2535, GFDL5564, UKHI, UKLO, UKTR) 30 évi napi középhőmérsékleti adata alapján hasonlítottuk össze a scenáriók és a modellünk által együttesen előrejelzett fenológiai mintázatot a csipkésposloska-populációkra vonatkoztatva. A dolgozatban az eredményeket az 1999-es esztendőre, továbbá minden scenárió 15. esztendejére mutatjuk be, mert ezt az évet különösen is jellemzőnek találtuk mind a hat scenárió esetében. Ábrázoljuk és elemezzük a napi középhőmérsékleti adatokat, az R_t aktivitási tényezők értékeit, az SSW_t^{Ph} simított karakterisztikus függvények görbéit, az NoI_t^{Ph} egyedszámfüggvényeket, végül a levelenkénti átlagos egyedszámot a lárvákra és imágókra összegezve.

6. A fenológiai modell általánosítási lehetőségei

A fenti modell számtalan általánosítási lehetősége közül mi csak hármat említünk, melyeket a dolgozatban részletesen közlünk:

- általánosított fenológia, általánosított karakterisztikus függvény,
- általánosított biomasszamodell,
- általánosított fenofázisonkénti egyedszámfüggvény.

C. A kukorica- és búzatermesztés kockázatának vizsgálata egy új sztochasztikus hatásossági módszerrel

1. Bevezetés

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. A kockázatok között hazánkban különösen is kiemelkedő jelentőséggel bír a hozam kockázata, amely az elmúlt évtizedek tapasztalata alapján figyelemreméltó mértékben növekedett. Célunk az volt, hogy objektív módszertani eszközök segítségével igazoljuk: 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 éveket követő további vizsgálatainknak elsősorban a megfelelő megyei adatok hiánya vetett gátat.)

2. A kukorica termés-kockázatának vizsgálata Magyarország négy megyéjére (1951-1990)

A hatásossági kritériumok

A kukorica terméseredményeken a magyarországi rendszerváltozás okozta terméskiesésen kívül már a 80-as évek kezdetétől nagyarányú szóródásnövekedés figyelhető meg. Különösen súlyos veszteség volt a termésben az 1990-es esztendőben, ezért a vizsgálatokat kétféleképpen is elvégeztük: az 1990-es esztendőt is figyelembe véve, és az 1990-es esztendő adatait elhagyva, az utolsó időszakot 20 év helyett 19 éves tartamra választva. Először a III. fejezetben ismertetett módon aktualizált adatokból, szakértői becslések bevonásával elkészítettük a szubjektív eloszlásfüggvényeket a négy megyére és a háromszor húsz évre (1951-70, 1961-80 és 1971-90, illetőleg az 1990-es esztendőt elhagyva a csonkított adatsorra.

Sztochasztikus dominancia, E, V -hatásosság és a hasznossági függvényen alapuló kritérium

Bács-Kiskun megyében az idő haladtával az eloszlások várható értéke csökkent, miközben a szórása nőtt (az eloszlásfüggvény balra tolódott, és meredeksége csökkent). A többi megyénél a szubjektív eloszlásokból nem derül ki egyértelműen az idők során bekövetkezett változás. Azonban ha Bács-Kiskun és Fejér megye teljes adataira E, V -hatásossági vizsgálatot végzünk, akkor kiderül, hogy kockázat szempontjából az idővel kedvezőtlenebb helyzet alakult ki. A többi megyére és Fejér megyére a csonkított idősorral azonban az E, V -hatásossági vizsgálat nem létesít rendezést, azaz ha sorrendet szeretnénk felállítani közöttük, más módszer alkalmazása szükséges.

Az E, V -hatásossági vizsgálattal egyidőben meghatároztuk az $r_a = 0.004$ abszolút kockázati averzió értékhez tartozó

$$U_{CE} : V_i \mapsto U_{CE}(V_i) = CE + 0.5r_a V_i$$

lineáris függvényeket három-három rögzített CE bizonyossági ellenértékre. Minden esetben azt kaptuk, hogy kockázat szempontjából az idő múlása egyre kedvezőtlenebb helyzetet teremtett. A hasznossági kritériumon alapuló módszernek azonban hátránya, hogy csak egyetlen rögzített abszolút kockázati averzió esetén árulja el a vizsgált esetek közötti rendezést. Ha ennél többet szeretnénk megtudni, akkor az általánosabb, sztochasztikus hatásossági kritériumot is meg kell vizsgálnunk.

A sztochasztikus hatásosság

A sztochasztikus hatásosság módszerét alkalmazva igazoltuk, hogy a kukoricatermesztés kockázata mind a négy vizsgált megyében az 1951-70 és az 1961-80-as éveket összehasonlítva az r_a kockázati averzió nagyságától függetlenül valamelyest növekedett. A kockázat mértéke az 1971-90-es években Győr-Moson-Sopron megye kivételével fokozottabban megugrott, különösen nagyobb arányú r_a kockázati averzió esetén.

Felmerülhet, hogy ezt a nagyfokú kockázatnövekedést kizárólag az 1990-es évi óriási terméskiesés okozza. Valóban, ha elhagyjuk az 1990-es esztendőt az adatsorunkból, és az utolsó időszakot így vizsgáljuk, a kockázat növekedése nem olyan fokozott, mint az 1990-es adatokkal együtt, de így is elmondható, hogy - különösen nagyobb r_a értékekre - a kockázat határozottan növekedett.

A csonkított adatokra ismét meghatároztuk a CE értékeket az abszolút kockázati averzió függvényében, és azt tapasztaltuk, hogy a legkevésbé kockázatos időszak a legkorábbi (1951-1970). Hajdú-Bihar és Fejér megyében a kockázat növekedését szigorúan csak az $r_a = 0.002$ -nél nagyobb értékekre mondhatjuk el. Ez azonban nem csökkenti a termesztők és kutatók számára egyaránt súlyos és objektív figyelmeztetés jelentőségét. A kockázat mértéke Bács-Kiskun megyében növekedett a legdrasztikusabban, Győr-Moson-Sopron megyében a legkevésbé, de a növekedés itt is egyértelmű.

3. A búza terméskockázatának vizsgálata Magyarország négy megyéjére (1951-1990)

A hatásossági kritériumok

Az első lépésben ismét meghatároztuk a szubjektív eloszlásfüggvényeket a négy megyére és a háromszor húsz évre. A búza esetén a vizsgálatot csonkított adatsorra elvégezni nem volt indokolt.

Sztochasztikus dominancia, E, V -hatásosság és a hasznossági függvényen alapuló kritérium

A búza termesztésénél a legegyszerűbb kockázattövedés Hajdú-Bihar megyében figyelhető meg, itt a szubjektív eloszlásfüggvények pontonkénti relációban vannak. Ez az E, V -hatásossági kritériummal is igazolható, de ezzel a módszerrel a többi megyében a három-három időszak között ismét nem létesíthető teljes rendezés. A hasznossági függvényen alapuló kritérium Fejér megye kivételével minden megyében ugyanazt a sorrendet adja a háromszor húszéves időszorra, mely egyértelműen a kockázat növekedését igazolja ezekben a megyékben, bár csak erre az egy rögzített r_a értékre.

A sztochasztikus hatásosság

A búza termesztésének kockázata a négy vizsgált megyéből háromban az 1951-70 és az 1961-80-as éveket összehasonlítva az r_a kockázati averzió nagyságától függetlenül növekedett. Ez a változás Fejér megyéről nem mondható el. Ott az 1951-70-ig terjedő időszaknál kockázatosabb volt az 1971-90-es, ámde a legmagasabb kockázattal e három között az r_a értékkészletének majdnem teljes tartományán az 1961-80-as évek jártak. Fejér megyében az utolsó időszak kockázata csak $r_a > 0.014$ értékekre növekedett. A kockázat növekedésének mértéke az 1971-90-es évekre vonatkoztatva a kukoricánál megállapítottaktól eltérően csak Győr-Moson-Sopron megyében fokozódott, de itt sincs eltérés a kisebb és a nagyobb r_a kockázati averziós értékekre.

A kukorica aktualizált terméseredményeinek eloszlása minden esetben pozitív csúcsosságú volt. A búza esetében a csúcsosság idővel csökkent, sok esetben negatív lett, azaz az eloszlások laposodtak. A különbséget röviden úgy fogalmazhatjuk meg, hogy a búza terméseredmények szórása és (egyben kockázata) lassan növekedett, mint egy olló, az értéktartomány egyenletesen szétnyílt, míg a kukorica esetében a változás váratlanul és súlyos extrémális értékekkel jelent meg.

D. Az új eredmények rövid áttekintése

Az alábbiakban röviden és tételesen összefoglaljuk az elért eredményeket.

A. Egy determinisztikus, diszkrét differenciaegyenlet-rendszeren alapuló agro-ökológiai táplálékhálózati rendszer populációdinamikai biomasszamodelljének felépítése és vizsgálata

- A napi középhőmérséklettől függő biológiai aktivitás, a predáció, a forrás és a versengés ábrázolása
- A fiziológiai és analitikus modell biológiai funkcióinak matematikai igazolása
- A modell értékelése
- Egy elméleti esettanulmány a modell szimulációs eredményeinek és az 1980-ban Debrecenben mért napi középhőmérsékleti adatok alapján
- Egy elméleti esettanulmány a modell öt éves időtartamú szimulációs eredményeinek és az 1980-84-ben Debrecenben mért napi középhőmérsékleti adatok alapján

B. Egy ökológiai rendszer egyes populációinak napi biomasszamennyisége, a napi időjárási adatok és a populációk fenológiai és más biológiai tulajdonságai alapján a populációk egyes fenofázisainak napi egyedszámának meghatározása

- Az aktivitási tényező fenológiától függő általánosítása
- A kumulált aktivitás fogalmának bevezetése
- A fenológiai változásokat reprezentáló karakterisztikus függvény bevezetése, és simított típusú általánosítása
- A fenofázisonkénti egyedszám meghatározása
- A csipkésposloska várható fenológiai mintázatának meghatározása a klímaváltozási scenáriók tükrében
- Az imágók és lárvák levelenkénti átlagos számának modellbeli és tapasztalati eredményeinek összevetése
- A fenológiai modell további általánosításai (általánosított fenológia, általánosított karakterisztikus függvény, általánosított biomasszamodell, általánosított fenofázisonkénti egyedszámfüggvény)

C. A kukorica és búza terméskockázatának vizsgálata Magyarország négy megyéjére (1951-1990)

- A kockázat növekedésének igazolása elterjedtebb hatásossági kritériumok és a szakirodalomban a közelmúltban megjelent sztochasztikus hatásossági kritérium alapján

V. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Az alábbiakban először röviden vázoljuk azokat a területeket, ahol eredményeinket alkalmazták, vagy alkalmazásuk ezután várható. Ezután ismertetjük további terveinket.

1. Alkalmazás

Az agro-ökológiai táplálékhálózati rendszer populációdinamikai biomasszamodelljét térbeli inhomogenitások esetén vizsgálta Horváth (2002). Eredményei igen jól hasznosíthatók a precíziós növénytermesztésben.

Szintén a dolgozatban ismertetett biomasszamodellre épül a többváltozós állapotstátusz-rendszerek alkalmazása is (Horváth et al., 2003).

Megfelelő mennyiségű és minőségű adatok hiányában a modellek teljes értékelését sajnos nem állt módunkban elvégezni. Mivel mindkét modellünk kellően általános ahhoz, hogy segítségével számos Magyarországon élő egyszerű ökológiai rendszer viselkedése, illetve egy természetes növény kártevő-populációinak fenológiai dinamikája szimulálható, ezért arra számítunk, hogy ilyen rendszerek monitorozása eredményeképpen születendő további adatok felhasználásával a modelleket a későbbiekben más rendszerekre is validálni és vizsgálni tudjuk.

A fenológiai modell alkalmazására elsősorban a növényvédelemben számíthatunk. Ha a hagyományos módszerekben gondolkodunk, akkor a modell segítségével egy adott időpontig ismert időjárási paraméterek birtokában sokkal pontosabban meghatározható az az optimális időpont, amikor a legérzékenyebb fenológiai fázis csúcspontja várható. Mivel a modell segítségével a biomassa/egyedszám becslést is elvégezhetjük, ezért a növényvédelemnek nemcsak a legmegfelelőbb időpontját (időpontjait), hanem az alkalmazott vegyszerek optimális mennyiségét is közelebről meg tudjuk határozni. A biológiai védekezés módszere – bár még nem elterjedt hazánkban – mindkét modellünk együttes alkalmazásával szintén igen jól támogatható.

A Magyar Mezőgazdasági Modellezők Műhelye által felépített és útjára bocsátott 4M modell elsősorban a talaj-növény fiziológiai kapcsolatát elemzi, a növény-kártevő kapcsolat leírását nem tartalmazza. Reményeink szerint modelljeink a szükséges átalakításokat követően további modulként a 4M-hez fűzhetőek lesznek.

2. További terveink

Terveink között szerepel hosszabb, 20-40 éves idősorok vizsgálata is, illetve szimulált bemenő adatokkal való hosszútávú előrejelzések készítése is. Ekkor egyéb, akár szezonálisan változó (a vegetációs időszakban sűrűbb, akár óránkénti, a téli hónapokban ritkább) lépésköz alkalmazása is indokolt lehet. A hosszútávú adatsorok vizsgálata folyamányaként az egyes rendszerek rövid- és hosszútávú stabilitásának összehasonlítására is lehetőség nyílik.

A valóságban természetesen ennél sokkal nagyobb és összetettebb táplálékhálózatokkal kell dolgoznunk, ezért céljaink között szerepel az ilyen nagy volumenű hálózatok kisebb, áttekinthetőbb modellekkel való leírása is. Ehhez egyrészt a nagyobb rendszerek sokváltozós módszerekkel való megfelelő strukturálására/egyszerűsítésére, illetve a modelljeink több szempontból való további általánosítására, egyes pontokon ugyanakkor specifikálására is szükség van.

A modellek sztochasztikus általánosításával olyan alakra hozhatóak, hogy annak segítségével a dolgozatban ismertetett kockázatelemző módszerekkel a modellezett növény-kártevő rendszerek kockázati aspektusainak részletes feltárása is lehetővé válik.

A magyar mezőgazdaságnak ma kiemelt problémája a termőterületek eltérő lokális adottságából fakadó foltosodása, és ennek számos negatív következménye. A foltosodás természetesen az egész ökoszisztéma homogenitását megbontja, illetve indikálja, ezért modellünk tervbe vett inhomogén térbeli további kiterjesztése ennek a problémának a vizsgálatát is elősegíthetné.

A szerzőnek a témában megjelent publikációi

- [1] Bánkóvi, Gy., Harnos, A., Harnos, Zs., Ladányi, M. and Veliczky, J. (1991) Adaptív termeléselőjelzés. In: Az alkalmazkodó mezőgazdaság rendszere. KÉE, Budapest, Hungary, pp. 42-51.
- [2] Ladányi, M. (1995) Növénytermesztési modellek. In: AGRO-21, Budapest, Hungary, Vol. 11, pp. 79-96.
- [3] Horváth, L., Hufnagel, L., Révész, A., Gaál, M., Ladányi, M. and Erdélyi, É., (2002) Agroökoszisztémák modellezése. In: Palkovics, M, Kondorosyné-Varga E., (eds): XLIV. Georgikon Napok: Stabilitás és intézményrendszer az agrárgazdaságban (konferencia kiadvány) Georgikon, Keszthely p. 45.
- [4] Ladányi, M. and Erdélyi, É. (2002) Kölcsönhatási hálózatok időbeli szimulációja - Szimuláció és monitoring az agrárökoszisztémák vizsgálatában. In: Harnos Zs., (ed) Agrárinformatika 2002, pp. 296-314.
- [5] Ladányi, M. (2002) Egy táplálékhálózat szezonális populációdinamikai modellje. VI. Magyar Biometriai és Biomatematikai Konferencia, pp. 43-44
- [6] Ladányi, M. (2003a) A seasonal model focused on the biotic interactions of food-web populations. In: Proc. IInd Erdei Ferenc Conf. Kecskemét, Hungary. pp. 311-315.
- [7] Ladányi, M. (2003b) Phenological simulation of food-web populations. In: Proc. IInd Erdei Ferenc Conf. Kecskemét, Hungary. pp. 316-320.
- [8] Ladányi, M. and Hufnagel, L. (2003a) A phenology model embedded in an ecosystem model for 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. 876-881.
- [9] Ladányi, M. and Hufnagel, L. (2003b) Fenológiától függő egyedszám meghatározás. In: Lippay János – Ormos Imre – Vas Károly Tudományos Ülésszak összefoglalói. pp. 46-47.
- [10] Ladányi, M., Erdélyi, É. and Révész, A. (2003a) 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.
- [11] Ladányi, M., Gaál, M., Horváth, L., Hufnagel, L., Révész, A. and Erdélyi, É. (2003b) 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.
- [12] Ladányi, M., Horváth, L., Gaál, M. and Hufnagel, L. (2003c) An agro-ecological simulation model system. Applied Ecology and Environmental Research, 2003(1-2), pp. 47-74.
- [13] Ladányi, M. and Erdélyi, É. (2004) Istrazivanje zemljiste-biljka-klima-stetocine modela u znaku odrzive poljoprivrede (Examination of a soil-plant-weather-pest system in the light of sustainable agriculture). "III Medunarodna eko-konferencija - Zdrastveno bezbedna hrana", Novi Sad, 2004, pp. 431-434.
- [14] Ószi, B., Ladányi, M. and Hufnagel, L. (2005) Population dynamics of the sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* (Say) (heteroptera: tingidae) in Hungary. Applied Ecology and Environmental Research, 4(1), pp. 135-150.
- [15] Ladányi, M. and 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, 2005, pp. 1-6.
- [16] Ladányi, M. and Harnos Zs. (2005) Biometria agrártudományi alkalmazásokkal. Tankönyv. Aula, Budapest, Hungary, 2005.
- [17] Ladányi, M. and Hufnagel, L. (in press) The effect of climate change on the population of sycamore lace bug (*Corythuca ciliata*, Say) based on a simulation model with phenological response. Applied Ecology and Environmental Research, 2006.
- [18] Ladányi, M. (in press) A review of the potential climate change impact on insect populations – general and agricultural aspects. Applied Ecology and Environmental Research, 2006.