

DEBRECENI EGYETEM

Agrártudományi Centrum

Mezőgazdaságtudományi Kar

Földműveléstani Tanszék

Növénytermesztés, Agroökológia PhD program**Doktori (PhD) értekezés tézisei****NÖVÉNYTERMESZTÉSI TÉNYEZŐK ÉRTÉKELÉSE A CERES-MAIZE 3.5 MODELLEL
TALAJMŰVELÉSI TARTAMKÍSÉRLETBEN**

Készítette:

Megyes Attila

Tudományos vezető:

Prof. dr. Nagy János

tanszékvezető

az MTA doktora

Debrecen

2001

1. BEVEZETÉS

Az utóbbi években fokozódik a kutatók érdeklődése az ún. crop-modellek alkalmazása iránt. A döntés-előkészítő és szakértői rendszerek elterjedésével a mezőgazdasági döntéshozók különböző szinteken ugyancsak találkoznak a talaj-növény-klíma események előrejelzésére alkalmas technikákkal (Kovács, 1995). A crop-modellek a növények fejlődését és növekedését, valamint a környezetükben (légtérben, talajban) lejátszódó folyamatokat, az agrotechnikai beavatkozásokkal együtt, napi léptékben szimulálják. Ezzel az eszközzel – ha az már hitelesen működik az adott növény és környezete rendszerében – ellenőrizni lehet a tenyészidőszak folyamán ható, összes fontos tényező szerepét, mérhetővé válnak az adott

termesztési tényezők megváltozásából eredő hatások. Ilyen módon évjáratokat lehet generálni és tesztelni lehet a műtrágyázás, a talajművelés, az öntözés, a növényszám, illetve a vetésforgók hatását, termesztési stratégiákat lehet a termés, a nettó nyereség, valamint a környezeti hatások szempontjából értékelni.

A szimulációs rendszer-modellek az ökológiai rendszer időbeli dinamikájának, működésének jobb megismerésében, ismereteink hiányzó láncszemeinek felismerésében is segítenek. Modellépítés közben gyakran kiderül, hogy nem szoktuk mérni vagy megfigyelni a produkció vagy bizonyos környezeti hatások szempontjából fontos tényezőket vagy összefüggéseket. Ez új célt és lendületet ad a kísérletes kutatásnak (Kovács, 1995). Sok szántóföldi kísérlet költségét takaríthatjuk meg azzal, ha a kísérletek beállítása előtt sokoldalú szimulációs kísérleteket végzünk el. A modell-számításokkal, stratégiai elemzésekkel hipotéziseket generálunk az optimális technológiákra. Megjegyzendő azonban az, hogy a modell nem helyettesíti a szántóföldi kísérleteket, de beállítás előtt, sokoldalú szimulációs kísérletekkel leszűkíthetjük a kísérleti tervet; ezáltal a kísérleteket csak az optimálisnak megjelölt kezelés-kombinációkban végezzük el. Így a szimuláció lerövidíti a kísérletezés időtartamát, azaz olcsóbbá, gyorsabbá, hatékonyabbá teszi a kísérletezést.

Ezek az eszközök azonban – a térségi kiterjesztést és az üzemi kipróbálást megelőzően – még további fejlesztésre szorulnak. A Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrumának kísérleti telepén beállított talajművelési tartamkísérlet adatbázisa lehetővé teszi a crop-modellek vizsgálatát a szemtermés, a biomassa produkció, és az egyes növénytermesztési tényezők (talajművelés, műtrágyázás, növényszám) hatását illetően, emellett segítséget nyújt a növény és a környezet kapcsolatrendszerének jobb megértésében.

Az egyetemi kutatómunka során már több részterületen is elvégezték a modell adaptálását. A tesztelés során nagyrészt fontosabb növénytermesztési tényezőknek a kukorica termésére kifejtett hatásait, ill. a talaj víz- és tápanyagkészletének szezonális dinamikáját elemezték a modell segítségével. Dolgozatomban arra teszek kísérletet, hogy a szimulációs modellel folytatott fenti vizsgálatok körét kibővítve a modell validálását a kukorica termése mellett a legfontosabb növekedési, fejlődési jellemzők értékelésével is kiegészítsem. Dolgozatom főbb céljai az alábbiak voltak:

- a kukorica növekedése, a környezet és a termés kapcsolatrendszerének (talaj-növény-klíma kölcsönhatások) tanulmányozása;
- a szimulációhoz szükséges induló talajparaméterek (nedvesség- és tápanyagkészlet, térfogattömeg), a növényszám, valamint a hibridek genetikai koefficienseinek megállapítása;
- az egyes kukorica genotípusok termésképzésének, növekedési, fenológiai jellemzőinek elemzése eltérő műtrágyázási, növényszám, ill. talajművelési változatokban; a kukorica termésének, és főbb növekedési, fejlődési jellemzőinek szimulációja a tenyészidőszakban;
- a vizsgálatokhoz használt CERES-Maize 3.5 szimulációs modell megbízhatóságának vizsgálata, illetve a modell adaptálása a fent említett kísérlet adatbázisa alapján.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. A talajművelési kísérlet fontosabb jellemzői

A vizsgálatokat, három éven keresztül, 1997-1999-ben, a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum Földműveléstani Tanszékének látóképi kísérleti telepén, Nagy János professzor által beállított többtényezős talajművelési tartamkísérletben végeztük.

Az 1983 óta folyó tartamkísérlet lehetővé teszi a műtrágyázás, a talajművelés, a növényszám és az öntözés hatásának értékelését a kukorica termésére (NAGY, 1996a). Mindezek mellett a kísérletben a kukorica növekedése, a környezet és a termés között fennálló kapcsolatrendszer (talaj-növény-klíma kölcsönhatások) szimulációs termésmodellek segítségével tanulmányozhatók. A szabadföldi tartamkísérlet

adatbázisa inputját képezi a CERES-Maize és más modelleknek, hozzájárulva azok térségi adaptációjához.

A tartamkísérlet kétszeresen osztott parcellás (split-split-plot) elrendezésű, a főparcellákon a talajművelési és az öntözési változatok szerepelnek ismétlés nélkül. Az elsőrendű alparcellákon a kukorica hibridek 50-70-90 ezres növénysszámmal, a másodrendű alparcellákon a műtrágyakezelés négy ismétlésben randomizáltan foglal helyet. Egy talajművelési blokk 8064 m²-es területet foglal el, amely egy öntözött és egy öntözetlen blokkra van felosztva. Egy-egy kukorica hibriddel beállított főparcella mérete: 2688 m², a műtrágyakezelések parcellája 336 m². Egy parcella nettó alapterülete 15.2 m².

A talajművelési tartamkísérletben *őszi szántás (27 cm)*, *tavaszi szántás (23 cm)* és *tavaszi sekélyművelés (12 cm)* talajművelési változat szerepel. A műtrágyakezelések *N₀P₀K₀ (műtrágyázás nélküli kontroll)*, *N₁₂₀P₉₀K₁₀₆*, ill. *N₂₄₀P₁₈₀K₂₁₂ kg ha⁻¹* dózisnak felelnek meg. 1997-től a tartamkísérlet tavasszal szántott ill. tavaszi tárcsás sekélyművelésben részesített parcelláin, a két talajművelési blokk területének 50-50 %-án őszi búza-kukorica vetésváltást alakítottak ki. A bikultúrában a kukorica 70 ezres növénysszámmal szerepel.

2.2. A vizsgált terület talajtani jellemzése

A Kísérleti Telep a Hajdúsági Lössháton található, talaja löszön kialakult, mély humuszos rétegű alföldi mészlepedékes csernozjom. Fizikai talajfélesége középkötött vályog. A kísérleti terület talajának fontosabb fizikai és kémiai jellemzőit, valamint a talajszelvény jellemzőit az alábbi táblázatok foglalják össze.

1. táblázat. A kísérleti terület talajának fontosabb fizikai tulajdonságai

mélység	leiszapolható rész	Arany-féle Kötöttségi szám	higroszkóposság	térfogattömeg	pórustérfogat	minimális vízkapacitás	holtvíz
cm	Li %	K _A	hy	g cm ⁻³	P %	VK _{mintf} %	HV _{tf} %
0-20	56.8	42	2.25	1.41	46.7	33.7	12.69
20-40	58.6	43	2.25	1.43	46	31.1	12.87
40-60	57.1	43	2.13	1.31	50.5	29.1	11.16
60-80	57.5	44	2.51	1.29	51.3	28.6	12.51
80-100	58.6	48	2.07	1.30	50.9	29.1	10.76
100-120	54.1	47	2.18	1.24	53.3	27.4	10.81
120-140	55.3	46	1.91	1.24	53.3	27.8	9.47

2. táblázat. A kísérleti terület talajának fontosabb kémiai tulajdonságai

mélység	kémhatás		CaCO ₃	humusz	Össz.N	AL-oldható	
cm	H ₂ O	KCl	%	%	%	P ₂ O ₅	K ₂ O
						ppm	
0-20	7.3	5.6	0	2.72	0.150	133.4	240.0

20-40	7.2	5.4	0	2.31	0.120	48.0	173.6
40-60	7.2	5.8	0	1.68	0.100	40.4	123.0
60-80	8.0	7.2	1.1	1.02	0.086	32.4	96.5
80-100	8.4	7.5	11.6	0.81	0.083	39.8	93.6
100-120	8.4	7.5	10.6	-	-	40.6	86.1
120-140	8.4	7.5	7.5	-	-	31.6	78.0

2.3. A kísérlet éghajlati jellemzői

A lehullott napi csapadékmennyiséget a kísérleti telepen helyszíni méréssel határozták meg. A globálisugárzás, a minimum és maximum hőmérséklet napi adatait a DATE Matematika, Fizika és Agrometeorológiai Tanszéke bocsátotta rendelkezésünkre.

Az 1997-től 1999-ig terjedő időszak időjárása kedvezett a kukorica fejlődésének. Az 1998-as és az 1999-es év időjárása egy viszonylag ritka egybeesésről árulkodik. Mind a korábbi rekordernek számító 1998-as, mind az új kísérleti csúcstermést hozó 1999-es év oly módon volt csapadékosabb a sokéves átlagnál, hogy közben a vegetációs periódus hőmérsékleti átlagai is pozitív eltérést mutattak. A több csapadék úgy alapozta meg a termésnövelés lehetőségét, hogy ehhez hozzájárulhatott a hőmérséklet növekedése is. Különösen az 1998-as és 1999-es évről mondhatjuk el, hogy nem zavarta meg a kukorica fejlődését sem forrósággal járó aszályos periódus, sem hűvös, a beérést gátló vagy elnyújtó időszak.

2.4. Kutatáshoz használt vizsgálati módszerek

2.4.1. A szimulációs modell általános jellemzése

A szimulációt a CERES-Maize szimulációs modell 3.5 (JONES és KINIRY, 1986; RITCHIE et al., 1994) változatával végeztük. A modell az ún. DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) döntéstámogató rendszer keretében működik. E rendszer lehetővé teszi a futások eredményeinek tárolását, illetve grafikai megjelenítését. A DSSAT rendszer fontosabb összetevőinek, ezen belül a CERES-Maize modell felépítésének vázlatos felépítését a 1. ábra mutatja be.

A CERES-Maize modell az ún. determinisztikus modellek csoportjába tartozik. Fontosabb modellezett folyamatok: a növények fejlődése, a biomassza növekedése, a levélfelület, az asszimiláció, az asszimiláták elosztása az egyes növényi szervekben, gyökerezési mélység és sűrűség rétegenként, a víz mozgása a talajban, evapotranszpiráció, a nitrogén átalakulása és mozgása a talajban, a növény N-felvétele és -elosztása.

A CERES-Maize modell ún. robusztus modell, tehát nem foglalkozik a cél szempontjából fölösleges részletekkel, amelyek a hibalehetőséget növelik. A modell a talaj-növény-klíma rendszer eseményeit, jelenségeit nagy vonalakban közelíti meg, egyszerűsége, arányosságra törekszik. A modell jellemzője a növényegyedből kiinduló és napi lépték, valamint az ún. kapacitív elven működő szimuláció (pl. a vízmozgás modellje az egyes talajrétegek vízkapacitásán alapszik). A modell tehát napi léptékben számol, az időjárás adatigénye is ennek megfelelő, az eredményeket is legfeljebb napi részletességgel közli a felhasználóval. A területegység, melyet homogénnek tételez fel, egy növény tenyészterülete. A modell ennél fogva egyetlen növényt vesz figyelembe, és annak környezetét képezi le a szimuláció során. A programot FORTRAN programnyelven írták, és egy éves futásra készült. Lehetőség van azonban arra is, hogy az ún. szezonális analízis keretében a vizsgálni kívánt éveket folyamatosan futtatni lehessen. Ebben az esetben a megelőző év eredmény állományait használja a program a következő év induló paramétereiként (RITCHIE et al., 1994).



1. ábra. A DSSAT V 3.5 komponenseinek sematikus ábrázolása

2.4.2. A modell bemenő és eredmény adatállományai

A program futtatásához az alábbi input adatállományokra van szükség: a napi minimum és maximum hőmérsékletet, a napi csapadék és sugárzási mérések adatait felölelő időjárási adatokra, a talajszelvény részletes leírását magába foglaló talajadatokra, a kísérletben használt kukorica hibridek genetikai paramétereit tartalmazó genetikai adatokra, valamint a mért kísérleti adatok állományaira, illetve a kísérlet technológiai jellemzőit tartalmazó állományra. Az eredmény adatállományok az általános eredményeken túl magukba foglalják a növényi növekedés, az időjárás és víz és a tápanyag szimulációját, valamint a nitrogén- és vízháztartási mérleget. Az egyes adatállományokat a 3. táblázatban foglaltuk össze.

3. táblázat. A CERES-Maize modell bemenő és eredmény adatállományai

Bemenő adatállományok	Eredmény adatállományok
időjárási adatok (*.wth)	általános eredmények (overview.out)
talajjellemzők (soil.sol)	növényi növekedés (growth.out)
genetikai paraméterek (mzcer980.cul)	időjárás és víz szimuláció (water.out)
kísérleti adatok (*.mzx)	tápanyag szimuláció (nitrogen.out)
betakarításkor megfigyelt adatok (*.mza)	vízháztartási mérleg (watbal.out)
szezonális mérési adatok (*.mzt)	nitrogénháztartási mérleg (nbal.out)

A talaj termékenysége szempontjából fontosabb fizikai és kémiai tulajdonságokat rétegenként adtuk meg, és 10 réteget különítettünk el a 2 méteres talajszelvényben. Egy réteg maximális vastagsága 30 cm lehet, míg a rétegek maximális száma nem haladhatja meg a 15-öt. A modell futtatásához szükséges legfontosabb bemenő talajparamétereket a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat. A modell futtatásához használt bemenő talajparaméterek

	Őszi szántás				Tavaszi sekélyművelés			
Réteg	LOL	DUL	SAT	BD	LOL	DUL	SAT	BD
cm	cm ³ cm ⁻³	cm ³ cm ⁻³	cm ³ cm ⁻³	g cm ⁻³	cm ³ cm ⁻³	cm ³ cm ⁻³	cm ³ cm ⁻³	g cm ⁻³
0-5	13.0	31.4	47.9	1.38	12.5	30.3	49.8	1.33
5-15	13.0	32.2	46.4	1.42	14.8	34.0	38.9	1.62
15-30	13.0	32.8	45.3	1.45	12.5	31.6	47.5	1.39
30-45	12.9	29.5	51.3	1.29	13.7	31.2	48.3	1.37
45-60	12.7	28.5	53.2	1.24	13.6	30.3	49.8	1.33
60-90	10.8	28.7	52.8	1.25	10.8	28.7	52.8	1.25
90-120	10.2	27.7	54.7	1.20	10.2	27.7	54.7	1.20
120-150	10.3	27.9	54.3	1.21	10.3	27.9	54.3	1.21
150-180	12.3	28.3	53.6	1.23	12.3	28.3	53.6	1.23

180-200	14.0	28.7	52.8	1.25	14.0	28.7	52.8	1.25
---------	------	------	------	------	------	------	------	------

A táblázatban szereplő LOL érték a holtvíztartalmat, a DUL a természetes, szabadföldi vízkapacitást, míg a SAT értékek a telítettségi nedvességtartalmat jelentik. A BD megjelölés alatt a nedves térfogattömeg-értékeket tüntettük fel, amely a duzzadó agyagásványok térfogatát veszi figyelembe.

A kísérletben felhasznált kukorica hibridek genetikai paramétereit az 5. táblázat mutatja be. P1-el a juvenilis fázis végéig szükséges effektív hőösszeget ($^{\circ}\text{C nap}$) jelöltük. A P2-es paraméter az ún fotoperiodikus konstans (nap h^{-1}), amely a 12.5 óránál hosszabb megvilágítás esetén a címerkezdemény inicializációjának késését adja meg napokban. A nővirágzástól a fiziológiai érettségig szükséges hőösszeget ($^{\circ}\text{C nap}$) a P5-ös paraméter adja meg. G2-vel jelöltük az egy csövön lehetséges maximális szemszámot, míg a G3-as koefficiens a szárazanyag-beépülés maximális sebességét fejezi ki ($\text{mg nap}^{-1} \text{ szem}^{-1}$).

5. táblázat. A modell futtatásához használt genetikai paraméterek

Hibridek	P1	P2	P5	G2	G3
Debreceni 377 SC	145	0.5	750	750	7.25
DeKalb 471 SC	185	0.5	775	830	7.2

2.4.3. Növényvizsgálati módszerek

A vizsgálatokat középkötött, mészlepedékes csernozjom talajon beállított, több tényezős talajművelési tartamkísérletben, *öntözetlen körülmények mellett* végeztük. A vizsgált két eltérő tenyésztő és genotípusú hibrid a *Debreceni 377 SC* (FAO 340), illetve a *DeKalb 471 SC* (FAO 410) volt. Kísérletünkben az *őszi szántás (27 cm)* és a *tavaszi sekély tárcsázás (12 cm)* talajművelési változatok szerepeltek. A vizsgálatok 1998-ban és 1999-ben a *műtrágyázás nélküli (kontroll)* és $N_{120}P_{90}K_{106} \text{ kg ha}^{-1}$ dózisú parcellákat érintették, míg 1997-ben kizárólag a $N_{120}P_{90}K_{106} \text{ kg ha}^{-1}$ műtrágya-hatóanyaggal kezelt területeken végeztünk vizsgálatokat. Mindhárom kísérleti évben 50000 és 70000 tő ha^{-1} növényszámú parcellákat választottuk ki a tervezett mérésekhez, vizsgálatokhoz.

A növénymintákat a kukorica 4-6 leveles fejlettségétől (a vetéstől számított 27-29. naptól) a teljes érésig a HANWAY (1962) által javasolt fenológiai fázisokban vettük. Hanway a kukorica egyedfejlődést a keléstől számítva 10 szakaszra osztotta. A nővirágzás előtti időpontokat a levélszám alapján, a virágzás utáni időpontokat pedig a szemek fejlődése alapján határozta meg.

Minden kezelésből és ismétlésből 3-3 teljes kukoricanövényt vágunk ki. A növényeket a következő részekre bontottuk fel: szár + címer + levélhüvely; levél; csuhélevelek; csutka; szem. A növényi szervek szárazanyag-tartalmát 60°C -on, tömegállandóságig történő szárítással határoztuk meg szárítószekrényben. Vizsgáltuk a föld feletti biomassza változását, a szemtelítődés alakulását a nővirágzástól a fiziológiai érettség kialakulásáig. 1998-ban a modell kalibrálása céljából meghatároztuk a szárazanyag-beépülés maximális sebességét kifejező G3-as genetikai koefficiens értékét. Ennek érdekében elvégeztük a szemtelítődés részletesebb vizsgálatát. A nővirágzástól a szemtelítődési fázis lineáris szakaszának végéig 5-6 napos intervallumban vettünk mintákat.

Meghatároztuk emellett az egyes hibridek szárazanyagban kifejezett szemtermését, illetve annak komponenseit (a m^2 -enkénti és a csövenkénti szemszámot, szemtömeget, ezerszemtömeget, a betakarításkori növényszámot). A fenológiai vizsgálatok a szántóföldi kelés, nő- és hímvirágzás, biológiai érettség (az ún. fekete réteg kialakulásának) megállapítására terjedtek ki. Ezek keretében 2-3 naponta végeztünk felvételezéseket az egyes fenológiai stádiumok részletes leírása céljából. A közölt mintavételi időpontokban mértük a levelek maximális hosszát és szélességét. A kukorica egyedi levélterületét és ebből

a levélterület-indexet ($LAI\ m^2\ m^{-2}$) a hossz és szélesség mérésével az ún. Montgomery formulával számítottuk ki (MONTGOMERY, 1911).

2.4.4. Talajvizsgálati módszerek

A talaj nedvességtartalmának meghatározásához a mintákat tavasszal, közvetlenül a vetés előtt (1997: március 28.; 1998: április 24.; 1999: április 15.) vettük 3-3 ismételtsben a szántott, ill. a tavaszi sekély művelésű területek műtrágyázatlan és $N_{120}P_{90}K_{106}\ kg\ ha^{-1}$ dózisú parcelláiról (1997-ben csak a műtrágyázott területekről gyűjtöttünk be talajmintákat). A vizsgálatok a 0-200 cm-es talajszelvényre terjedtek ki. 10 db eltérő vastagságú réteget (0-5, 5-15, 15-30, 30-45, 45-60, 60-90, 90-120, 120-150, 150-180, 180-200 cm) különítettünk el a talajszelvényben. A talajfúróval begyűjtött bolygatott talajmintákon gravimetriásan határoztuk meg a tömeg %-os nedvességtartalmat.

A talaj tápanyagellátottságának megítéléséhez a tavaszi talajnedvesség-tartalom megállapításakor vett talajmintákat használtuk fel. A talaj NH_4 - és NO_3 -N, valamint P_2O_5 és K_2O tartalmának meghatározását a DATE Műszerközpontja végezte el (KCl oldható NO_3 , valamint Al-oldható P_2O_5 és K_2O meghatározása Contiflo-sorral).

A talaj térfogattömegének vizsgálatát eredeti, bolygatatlan szerkezetű talajmintákon végeztük el. A bolygatatlan talajminták begyűjtése 1997-ben a tenyészidőszak első felében és a betakarítás időpontjában patronos mintavétellel, ásott szelvénygödörből történt.

2.4.5. Vizsgálati eredmények feldolgozásának és értékelésének módszertana

A statisztikai értékelést az SPSS for Windows 8.0 statisztikai szoftverrel és Sváb (1981) módszerkönyve szerint végeztük el. A kezeléshatások elkülönítésére *többváltozós variancia-analízist* alkalmazunk. Az értékelésbe több változót vontunk be: *kelés, virágzás, fiziológiai érettség ideje, egyedi produkció, biomassza, szemszám, ezerszemtömeg, LAI, növényszám*. E módszer előnye, hogy több változó egyidejű elemzése nagyobb biztonságot nyújt a kezeléshatások komplex összehasonlításában ill. szétválasztásában.

A modell validálása, a kísérleti helyszínre történő érvényesítése, adaptálása során a megfigyelt és a becsült adatok közti összefüggés leírására *lineáris regressziós modellt* használtunk. A kísérletből származó, mért adatok a regresszió független változói, a modell futtatásából kapott szimulációs értékek pedig függő változóként szerepeltek. A regressziós vizsgálat keretében az 1997-es és az 1999-es év mért és becsült adatait elemeztük, az 1998-as esztendő nem szerepelt a regressziós értékelésben. Mivel a modell kalibrációjához az 1998-as év adatait használtuk fel, így ennek az évnek az eredményei nem függetlenek a modell kalibrációjától.

A kísérleti adatok feldolgozásához, a dolgozat szöveges részének, ábráinak, diagrammjainak, táblázatainak elkészítéséhez a Microsoft Office programcsomag Excel 5.0 táblázatkezelő, valamint Word 7.0 szövegszerkesztő szoftvereit használtuk fel.

3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS

3.1. A talaj induló (a szimuláció kezdetén mért) nedvesség- és ásványi-N-tartalmával kapcsolatos vizsgálatok eredményei

Az 1997-1999-es időszak tavaszi nedvességekészlete az 1997-es év kivételével mindkét művelési mód, ill. műtrágya kezelés esetén optimális kiindulási feltételeket biztosított a kukoricaállomány fiatalkori növekedéséhez, fejlődéséhez. A vizsgált tényezők közül a műtrágyázás hatására szignifikánsan csökkent a vetés előtt mért nedvességekészlet 1998-ban, az eltérő mélységben és időben elvégzett talajművelési kezelések szignifikáns hatását nem mutattuk ki sem 1998-ban, sem 1999-ben. 1997-ben a talaj felső, a kukorica kezdeti fejlődése szempontjából kiemelkedő jelentőségű, 0-10 cm-es rétegének viszonylag alacsony nedvességtartalma a méréseket követő csapadékszegény időjárás következtében mindkét művelés esetén hátráltatta az állomány gyors csírázását, kelését.

A szimulációs vizsgálatok eredményei szerint a modell segítségével a talaj felső 60 cm-es rétegének tavaszi nedvességekészlete elfogadható pontossággal becsülhető. A 60 cm-nél mélyebb szelvényben viszont a modell jelentősen alulbecsüli a mért értékeket. Az eltérés oka valószínűleg az, hogy a modell nem veszi figyelembe a vizsgált 2 m-es talajszelvénybe alulról, illetve oldalról érkező többlet vízmennyiség hatását.

A vizsgált időszak mérési eredményei alapján megállapítottuk, hogy műtrágyázás nélkül egyik nitrogénforma mennyisége sem számottevő a vizsgált szelvényben. Eloszlásuk egyenletes, a koncentráció a felszíntől a mélyebb rétegek irányába haladva jelentős mértékben csökken. Trágyázás nélkül a talajművelésnek nem volt hatása a talajszelvény ásványi N-formáinak mennyiségére. Műtrágyázott körülmények között a különböző mélységű talajművelési kezelések jelentős mértékben befolyásolják a talaj ásványi nitrogén-készletét. Tavaszi sekélytárcsás művelés esetén a szántott kezelés ásványi N tartalmának 30-50 %-a hiányzik a vizsgált talajszelvényből. A modell becslése szerint a vizsgált talajszelvényből nem mosódott ki NO₃-N egyik talajművelés kezelésnél sem, viszont a kiszórt műtrágya mennyiségének 30 %-át meghaladó denitrifikáció lépett fel a szántás nélküli kezelésben. A jelentős nitrogénvesztesség a 15-20 cm-es szelvényben kialakult, károsan tömörödött talajréteg, illetve a szabadföldi vízkapacitást tartósan meghaladó talajnedvesség által okozott levegőtlen talajállapotról vezethető vissza.

3.2. A talajművelés hatása a kukorica egyedi szemtermés-produkciójára és a növényszámra

Az 1997-1999-es időszak eredményei szerint a kukorica egyedi szemtermés produkcióját csak a műtrágyázás és a növényszám növelte szignifikánsan, az egyes talajművelési eljárások között megbízható különbséget nem mutattunk ki. A mérések szerint tehát a vizsgált esztendőkhöz hasonló, kedvező időjárású, jó csapadék-ellátottságú években a kukorica egy növényegyedre eső szemtermése a tavasszal elvégzett sekély alpművelés ellenére sem csökken megbízhatóan az őszi szántáshoz képest. Az egyedi produkció szórását egyik kezelés sem befolyásolta lényegesen. Sem a talajművelés módja, sem a műtrágyázás mértéke, illetve az eltérő növény-sűrűség nem okozott következetesen kisebb vagy nagyobb állomány-heterogenitást. A kimutatott szóráskülönbségek a véletlennek tulajdoníthatóak, vagy a mintavételből eredő hibának tekinthetők.

A növény-számmal kapcsolatos vizsgálataink szerint az eltérő talajművelési módok jelentős mértékben befolyásolták az egységnyi területre eső növény-sűrűséget. A mért növény-sűrűség őszi szántás esetében körülbelül megegyezett az elméletileg kikelt növényegyedek számával, tehát a 95 %-os szántóföldi kelési valószínűséggel. Szántás nélküli, tavaszi sekély alpművelésnél viszont egyes esetekben akár 15 %-kal, vagy ezt meghaladó mértékben volt kisebb a növény-szám a betakarítás időpontjában a várt értékhez képest. Emellett a növényállomány kiegyenlítetlensége is a tavaszi sekélyművelésű parcellákon volt szembetűnő. A két talajművelési eljárás mért tőszámai között azonban csak 1997-ben és 1998-ban találtunk statisztikailag igazolható különbséget, ennek a sekélyművelésű parcellák állomány-sűrűségének nagyfokú variabilitása lehet az oka. A tavaszi sekélyművelésű parcellákon mért alacsony és rendkívül egyenetlen növény-szám a rögös, szár- és egyéb növényi maradványokkal borított talajfelszínnek tudható be, amely amellett, hogy a csírázást és az egyöntetű, gyors kelést késlelteti, rendkívüli mértékben megnehezíti a vetést is.

3.3. A modell kalibrálásához szükséges genetikai paraméterek megállapítása

A szimulációs modellek, így a CERES-Maize modell adaptálásának első lépcsőjét is a kalibrálás, azaz a fenológiai fázisok, illetve a teszt-növény növekedési, fejlődési változóinak pontos beállítása képezi. A kalibrálás tehát a modellben használt genetikai paraméterek egzakt meghatározását jelenti. A modell futtatása során felhasznált paramétereket a szakirodalomban általában nem teszik közzé új genotípusok esetén, ezért a koefficienseket szántóföldi kísérletekből származó adatok segítségével állítjuk be a kívánt értékre.

A modell futtatása során felhasznált paraméterek meghatározásához az 1998-as év szántóföldi mérési eredményeit használtuk fel. A beállított paramétereket minden kezelésben egységesen, változtatás nélkül alkalmaztuk a modell későbbi futtatásakor, illetve a validálás során. A szimulációhoz szükséges genetikai koefficiensek meghatározásához a modell ún. érzékenységi tesztjét (sensitivity test) használtuk. Az érzékenységi vizsgálat során mindig egy paramétert módosítottunk, míg a többi ezen idő alatt változatlan maradt. A P1-es és P5-ös paraméterek értékeit addig változtattuk, amíg a modell futtatásakor kapott,

becsült fenológiai jellemzők időpontja megegyezett a kísérletben mért időpontokkal.

A P2-es paraméter meghatározását szintén a fenti módszer szerint végeztük el. A vizsgálat eredményei azt mutatták, hogy a szántóföldi kísérletben használt hibridek közepesen érzékenyek a nappal-hosszúság változására, ezért a P2-es koefficiens 0.5-ös értékre állítottuk be.

A genetikailag determinált, maximális szemtelítődési sebesség értékének meghatározását, azaz a G3-as koefficiens megállapítását őszi szántás esetén 50000 tő ha^{-1} növény számon végeztem el, mivel ez a kombináció biztosított optimális feltételeket a szárazanyag akkumulációjához. A szemek szárazanyag-felhalmozódását mindkét genotípusnál a mért értékekhez igazított logisztikus függvénnyel lehet jellemezni. E függvény lineáris szakaszára illesztett egyenes meredeksége adja meg a G3-as paraméter, azaz a szemtelítődési sebesség legnagyobb napi értékét egy szemre vonatkozóan.

Az egy csövön lehetséges maximális szemszámot (G2-es koefficiens) a szántóföldi mérések során a nővirágzást követő 1-2 hét folyamán szedett növényi minták analíziséből határoztuk meg az 50000 tő ha^{-1} sűrűségű növényállomány jó tápanyag-ellátottságú, műtrágyázott parcelláiról. A mérhető maximális szemszám nagymértékben csökkent a növény sűrűség növelésekor, illetve alacsony tápanyag-ellátottságnál. A talajművelés módja szignifikánsan nem befolyásolta sem a lehetséges maximális szemszámot, sem a szemszám alakulását a tenyészidőszak során. Valamennyi kezelésben változott viszont a szemek száma a tenyészidőszak folyamán. A virágzást követően jelentősen csökkent a szemszám szemtelítődés intenzív szakaszának kezdetéig, majd ezt követően közel állandó értékű maradt a tenyészidőszak végéig.

3.4. A CERES-Maize 3.5 szimulációs modell becslésének értékelése

A szimulációs, ún. crop modellek fejlesztésének fontos részét képezi annak megállapítása, mennyire pontosan becsüli a modell a mért, megfigyelt jelenségeket. Mielőtt a modellt szimulációs kísérletekben alkalmaznánk, működését meglévő szántóföldi kísérleti adatok segítségével hitelesíteni kell. A modell validálása, azaz a kísérleti helyszínre történő érvényesítése során – ami a modell értékelésének folyamatában a kalibráció után a második lépést jelenti – egyrészt összehasonlítottuk a mért és a becsült értékeket, másrészt a legkisebb négyzetek elvén alapuló, lineáris regressziós modell segítségével kerestünk összefüggést ezen adatok között. A regressziós vizsgálat során az 1997-es és 1999-es év mért és becsült adatait elemeztük.

3.4.1. A kukorica fenológiai jellemzőinek becslése

1997-ben hosszú ideig elhúzódó és egyenetlen kelést regisztráltunk, amely a gyenge minőségű, mindkét művelési eljárás esetén nagyon száraz, poros, valamint durva rögökkel tarkított magágyra vezethető vissza. Tavaszi sekélyművelésnél a kelést a talaj felszínén maradt nagy mennyiségű, részben aprítatlan szármaradvány is késleltette. A megfigyelt és a becsült kelési időpontok között jelentős eltérést tapasztaltunk mindkét művelési eljárásnál. A kelés idejét őszi szántás esetén 6, míg tavaszi sekélytárcsázás esetén 9 nappal becsülte korábbra a modell a mért értékekhez képest. 1998-ban és 1999-ben az előnyös környezeti feltételek kedvezően befolyásolták a kukorica hibridek kelését, a szimulált értékek mindkét művelési eljárás esetén jól követték a mért adatokat.

A talajművelés módjától és a hibridektől függően, 1997-ben a modell mintegy 7-10 nappal korábbra becsülte a virágzás időpontját is. E hiba a száraz talajállapot következtében megkésített csírázásra, kelésre vezethető vissza. A vizsgálatban szereplő másik két évben a modell a nővirágzás időpontját mindkét hibrid esetén kellő pontossággal szimulálta, a becsült értékek a tavaszi sekély alapművelésű kezelésnél közelítették meg leginkább a kísérletből származó értékeket.

A kísérleti és a becsült adatok összevetése alapján megállapítottuk, hogy a keléshez és a nővirágzáshoz hasonlóan 1997-ben a modell szisztematikusan, mindkét hibrid valamennyi kezelésében mintegy 7-11 nappal alulbecsülte a biológiai érettség tényleges időpontját. A következő két évjáratban a modell megfelelő pontossággal szimulálta a kísérletből származó adatokat.

Az elvégzett vizsgálatok eredményei szerint a modell pontosan becsli a szántóföldi kelés, a növirágzás és a fiziológiai érettség időpontját, ha a talaj állapota és az időjárási tényezők optimálisak a kukorica csírázásához, kezdeti fejlődéséhez. Ha ezek a feltételek nem teljesülnek, a fenológiai jellemzőkre adott becslés jóval pontatlanabb. Ennek oka elsősorban az, hogy a modell szerint a csírázás idejét az elvetett szemeket tartalmazó és az alatta elhelyezkedő talajréteg nedvességtartalma határozza meg. Azonban a kérdéses rétegek átlagos nedvességtartalmának ismerete önmagában nem elegendő a csírázás pontos modellezéséhez. A modell nem vesz figyelembe olyan egyéb fontos jellemzőket, mint a magot körülvevő környezet állapota, a magágy rögzössége, a nedvességtartalom térbeli eloszlása, a vetőmag felülete és talajrészecskék közötti kapcsolat, a szármaradványok, a talajművelés módja és a végrehajtás ideje.

3.4.2. A kukorica fontosabb növekedési és fejlődési változóinak szimulációja

3.4.2.1. A szemtermés becslése

Az 1997-es esztendőben a modell valamennyi kezelésben következetesen alulbecsülte a kukorica hibridek szemtermését. Ennek oka valószínűleg a megkésett kelés, illetve a virágzás elhúzódása volt, amit a modell meglehetősen nagy hibával becsült. 1998-ban a modell a talajművelés, a trágyázás és a növényszám kezelések hatásait jól követte, a megfigyelt és a modell által becsült adatok közti eltérés a szórás terjedelmén belül vagy ahhoz nagyon közel volt valamennyi kezelésben. A becslés pontossága a tavaszi sekélyművelésű kezelésben volt jobb. A kísérletből származó szemtermés adatokat igen pontosan becsülte meg a modell az 1999-es évben is. Az előző évhez hasonlóan elég pontosan írta le az egyes kezelések közti eltéréseket. Az eltérések a számított szórásnál nem voltak nagyobbak.

A modell által szimulált és mért szemtermés adatok között szignifikáns összefüggést találtunk $p = 1.45 \cdot 10^{-6}$ szinten (2. ábra). A regressziós egyenletben szereplő "BE" a becsült, a "ME" a mért szemtermést jelenti. A lineáris regressziós egyenes illeszkedését jellemző r^2 -érték 0.66, a lineáris egyenlet regressziós együtthatója (dőlése) 0.88, az Y-tengelymetszet (regressziós állandó) pedig 174.9 kg ha^{-1} volt. Ez utóbbi az elvégzett t-próba eredménye szerint 0-tól szignifikánsan eltért. A becsült értékek szórása, azaz a regressziós becslés standard hibája $1287.9 \text{ kg ha}^{-1}$ volt, ami az átlag 13.8 %-a. A 2. ábrán jól látszik, hogy az adatok – az 1997-es év eredményeit leszámítva – egyenletesen oszlanak meg az 1:1 vonal mentén.

3.4.2.2. A terméselemek becslése

A modellezés egyik kritikus pontja a termés komponenseinek (egy csőre jutó szemszám és ezerszemtömeg) pontos meghatározása, mivel a CERES-Maize modell gyakran túl- vagy alulbecsüli ezeket a változókat.

Az egyes évjáratokban a modell eltérő pontossággal becsülte a *szemszámot*. 1997-ben a szimulált értékek következetesen kisebbek voltak a mért adatoknál. A modell mintegy 16-20 %-kal (De 377 SC), illetve 31-38 %-kal (DK 471 SC) becsült kevesebb szemszámot a valóságos értékeknél. 1998-ban a modellezett szemszám nem különbözött jelentős mértékben a kísérleti adatoktól. A szimulált és mért értékek közti átlagos eltérés nem haladta meg a 10 %-ot 50000 tő ha^{-1} növény számon, nagyobb növény sűrűség (70000 tő ha^{-1}) alkalmazásakor a becslés hibája viszont 13-15 %-ra emelkedett. A mért szemszámot a modell mindkét talajművelési eljárásban azonos pontossággal becsülte. 1999-ben a nem trágyázott, kontroll parcellák értékei kivételével a kísérleti, mért és a szimulált adatok igen jól megegyeztek. A természetes tápanyag-ellátottságú kezelésnél viszont a modell 22-39 %-kal (De 377 SC), illetve 23-45 %-kal (Dk 471 SC) becsülte alul a kukorica szemszámát. A nagymértékű becslési hibát valószínűleg a kontroll parcellák igen alacsony tápanyag-ellátottsága okozta.

A szimulált és a mért értékek közötti szignifikáns ($p = 3.2 \cdot 10^{-5}$) összefüggést az alábbi regressziós egyenlet segítségével írtuk le: $BE = 1.13 ME - 200.9$, amelyben BE = becsült szemszám cső^{-1} , ME = mért szemszám cső^{-1} . Az összefüggést leíró egyenes illeszkedését kifejező determinációs együttható értéke közepes ($r^2 = 0.55$), a standard hiba viszonylag nagy (az átlag 15.2 %-a) volt. Emellett az Y-tengelymetszet szignifikánsan különbözött 0-tól, azaz a modell a szemterméshez hasonlóan szisztematikusan alábecsülte az egy csővön

mért szemszámot (2. ábra).

1997-ben a csövenkénti szemszám becslésével ellentétben a modellezett *ezerszemtömeg* szignifikánsan nem különbözött a mért értékektől, a becslés átlagos hibája az 5 %-os határon belül maradt. A modell az 1998-as évben pontosan, átlagosan 5-7 %-os becslési hibával közelítette meg a kísérletben mért adatokat. 1999-ben a műtrágyázás nélküli kezelésben a becslés hibája ezzel szemben meghaladta a 20 %-ot, azaz a szimulált értékek jelentős mértékben, mintegy 25-71 %-kal nagyobbak voltak a számított *ezerszemtömeg*nél.

A 1997-es és 1999-es évet együttesen értékelve a mért és a becsült adatokat lineáris regresszióval elemeztük (2. ábra). A kísérletből származó és a modellezett adatok között szignifikáns összefüggést nem találtunk. A determinációs együttható értéke ($r^2 = 0.00$) is jelzi, hogy az adathalmazhoz nem tudtunk pontosan illeszkedő regressziós egyenest szerkeszteni. Ennek okát a tápanyagban szegény, kontroll kezelésben mért *ezerszemtömeg*-értékek rendkívül pontatlan szimulációjában kell keresni. A szimulált értékek következetesen nagyobbak voltak a mért értékek 220 mg szem⁻¹ tartományában.

A mért és a CERES-Maize modellel becsült terméskomponenseket összességében figyelembe véve megállapíthatjuk, hogy a szimuláció során előfordult pontatlanságok többnyire abból adódtak, hogy a modell csak viszonylag szűk tartományban képes mindkét változót kellő érzékenységgel becsülni. 1997-ben az alacsony, szimulált termés főként a becsült kis, szemszám következménye volt, az *ezerszemtömeg* nem befolyásolta meghatározó mértékben. 1999-ben a természetes tápanyag-ellátottságú, kontroll kezelésben a modellezett és a mért szemtermés-értékek nagyon jól megegyeztek, azonban emögött a csövenkénti szemszám nagymértékű alul-, illetve az *ezerszemtömeg* túlzott mértékű felülbecslése áll a háttérben.

3.4.2.3. Biomassza

1997-ben a mért és a modellezett biomassza a szemterméshez hasonlóan szignifikánsan eltért egymástól. A modell a kísérletben mért értékekhez képest mintegy 18-24 %-kal (De 377 SC), illetve 25-39 %-kal (DK 471 SC) becsült kevesebb szárazanyagot. A vizsgált két másik évben, 1998-ban és 1999-ben a modell által becsült értékek igen nagy pontossággal, 5 % alatti becslési hibával közelítették meg a mért értékeket a De 377 SC esetén, míg a másik genotípus becsült adatai átlagosan 5-10 %-kal maradtak el a mért adatoktól.

A becsült és a mért föld feletti biomassza értékek közötti, $p = 2.53 \cdot 10^{-12}$ szinten szignifikáns összefüggést az alábbi egyenlet írja le: $BE = 0.73 ME + 2621.3$, amelyben BE = a biomassza becsült tömege (kg ha⁻¹), ME = a biomassza mért tömege (kg ha⁻¹). A lineáris regressziós egyenes illeszkedése a determináns együttható alapján ($r^2 = 0.69$) közepes, míg a becsült értékek szórásának mértékét kifejező standard hiba 1683 kg ha⁻¹, azaz az átlag 8.8 %-a volt (2. ábra). A tengelymetszet a számítások szerint szignifikánsan eltért 0-tól, tehát a modell szisztematikusan alulbecsülte a biomassza értékeit. Eerre utal az adatok eloszlása is az 1:1 vonal körül. Az adatpontok elhelyezkedése a közepes, 14-20 t ha⁻¹-os tartományban a legkiegyenlítetlenebb, ami az 1997-ben mért biomassza értékek következetes alulbecslésével magyarázható. A modell ebben az évben a mért, 14400-20580 kg ha⁻¹ értékekkel szemben 11299-15083 kg ha⁻¹ tartományban becsülte a föld feletti biomassza mennyiségét.

3.4.2.4. Harvest-index

A De 377 SC esetében a mért és a modellezett HI nagyon pontosan megegyezett 1997-ben. Ez megerősíti azt, hogy a modell mind a biomasszát, mind a szemtermést azonos mértékben becsülte alul. A DK 471 SC modellezett HI-e 1997-ben 4-7 %-kal kisebb volt a mért értékeknél. A modell nagyobb pontossággal becsülte tehát a főterméket jelentő szemtermés adatokat. 1998-ban, illetve 1999-ben a becsült és a kísérletben számított HI között szignifikáns eltérést a De 377 SC esetén nem találtunk. A becslés hibája mindössze 1-3 % volt. A másik genotípus esetén, a vizsgált két évben, a modell által becsült HI átlagosan 3-10 %-kal haladta meg a mért értékeket, azonban 50000 tő ha⁻¹ növény számon, műtrágyázott körülmények között a becslés hibája kismértékben a 10 %-ot is túllépte. A DK 471 SC esetén tehát a modell melléktermékre adott becslése pontatlanabb volt, amit a mért értékeknél megbízhatóan alacsonyabb,

modellezett föld feletti fitotömeg-értékek is alátámasztanak.

A lineáris regresszió segítségével elvégzett összefüggés-vizsgálat szerint, a mért és a modellezett HI-értékek között erős szignifikáns kapcsolatot találtunk $p = 1.24 \cdot 10^{-6}$ szinten (2. ábra). A lineáris egyenlet megbízhatóan jellemzi a mért és a becsült értékek közti összefüggést. A regressziós becslés standard hibája 0.03 kg ha^{-1} volt, ami az átlag 5.6 %-át jelenti. A regressziós egyenes illeszkedése azonban csak közepes ($r^2 = 0.66$), amit az adatpontok 1:1 vonal körüli elhelyezkedése is jól szemléltet. Az adatok eloszlása csak közepes, 0.50 és 0.54 kg kg^{-1} közötti tartományban egyenletes az 1:1 vonal körül. Mind a kisebb (< 0.50), mind a nagyobb (> 0.54) HI-értékek esetében a modell becslése pontatlan volt. Előbbi esetben alul-, míg az utóbbi esetben felülbecsülte a mért adatokat. Ezt támasztja alá az is, hogy DK 471 SC $0.446\text{--}0.558 \text{ kg kg}^{-1}$ tartományban mért HI-értékeivel szemben a modellezett adatok a 0.429 és 0.651 kg kg^{-1} sávban találhatóak.

3.4.2.5. Maximális levélterület-index

A modell által becsült LAI_{max} -értékek – a termésadatokhoz hasonlóan – $18\text{--}30 \%$ -kal (De 377 SC), illetve $21\text{--}26 \%$ -kal (DK 471 SC) megbízhatóan kisebbek voltak a mért levélborítottságnál 1997-ben. 1998-ban a modell mindkét genotípusnál $5\text{--}10 \%$ -kal becsülte túl a kísérletben mért értékeket. 1999-ben a De 377 SC szimulált levélborítottsága átlagosan $10\text{--}13 \%$ -kal haladta meg a számított adatokat, a DK 471 SC mért értékeit viszont nagy pontossággal közelítettük meg a modell segítségével. A becslés hibája 5% alatt maradt. A regressziós vizsgálat eredményei szerint 1998-ban és 1999-ben az adatpontok az enyhe felülbecslés ellenére egyenletes eloszlást mutatnak, az 1997-es év tenyészidőszakából származó LAI-értékeket viszont szisztematikusan alulbecsülte a modell (2. ábra).



2. ábra. A kukorica fontosabb növekedési és fejlődési változóinak mért és a CERES-Maize modell által becsült értékei (1997, 1999)

3.4.3. Mért és a modell által becsült szárazanyag-gyarapodás időbeli változásának értékelése 1997-ben és 1999-ben

1997-ben a szimuláció során becsült értékeket reprezentáló görbék csak az első két mintavétel idején meghatározott biomassza értékekre illeszkednek jól, az ezt követő szántóföldi mérések eredményeit egyre nagyobb hibával becsülte a modell valamennyi kezelésben. A jelentős becslési hiba ellenére a szimulációs görbék lefutása jól szemlélteti a különböző mélységű talajművelési kezelések szárazanyag-produkcióra gyakorolt hatását. A föld feletti fitotömeg a szimulációs modell futtatása alapján is kevesebb volt a tavaszi sekélyművelésű kezelés esetén.

Az 1999-es év tenyészidőszakában mért biomassza értékeket elfogadható pontossággal követik a modell szimulációs görbéi. A modell által becsült és a kísérletben mért értékek között nincs igazolható különbség. A talajművelési kezeléseket leíró görbék is megerősítik azt, hogy az eltérő talajművelési eljárásoknak jó tápanyag-ellátottság és kedvező időjárási feltételek esetén nincs statisztikailag igazolható hatása a szárazanyag-produkcióra.

Az 1997-es és 1999-es év mért és modellezett adatait együttesen értékelve a kukorica összes föld feletti szárazanyag tömege, valamint a szárazanyag-gyarapodás tenyészidőszakbeli dinamikája a modell

segítségével a kísérletben alkalmazott valamennyi kezelés-kombináció esetében megfelelő pontossággal becsülhető optimális környezeti feltételek esetén. Mivel mindkét vizsgált esztendő tenyészidőszakában – a tavaszi sekély tárcsázás értékeit kivéve – közel azonos biomassa mennyiségeket mértünk, további szimulációs vizsgálatokra van szükség az 1997-ben fellepett jelentős becslési hiba okainak felderítésére.

3.4.4. Mért és a modell által becsült levélterület-index időbeli változásának értékelése 1997-ben és 1999-ben

1997-ben a modell meglehetősen nagy hibával, a kezelésektől függően mintegy 25-35 %-kal becsült következetesen alacsonyabb levélborítottságot a teljes tenyészidőszakban. Emellett a LAI_{max} értékét a ténylegesen mért adatokhoz képest 6-8 nappal korábbra szimulálta valamennyi kezelésben.

1999-ben a kísérletben mért és modellezett értékek között nem találtunk igazolható különbséget egyik genotípus esetén sem. A modell szimulációja jól követi a mért adatokat, pontosan becsli az eltérő talajművelési módok és növényszám szintek hatását.

Az 1997-es és 1999-es év tenyészidőszakában elvégzett vizsgálat eredményei szerint, a modell segítségével optimális időjárási, környezeti feltételek esetén a kukorica levélterület indexe, illetve a levélborítottság szezonális dinamikája elfogadható pontossággal becsülhető. A szárazanyag-gyapodáshoz hasonlóan, a mindkét év tenyészidőszakában közel azonos mértékű levélborítottság ellenére az 1997-es esztendőben tapasztalt jelentős becslési hiba okait szimulációs kísérletekkel lehetne tisztázni.

3.4.5. A CERES-Maize 3.5 modellel végzett szimulációs kísérletek

Az 1997-es év eredményeinek értékelése során felmerült problémákra szimulációs vizsgálat segítségével kerestünk választ. Az 1997-es év kritikus fejlődési és növekedési szakaszainak (vetés-címerdifferenciálódás, szemtelítődés) időjárási adatsorait az 1999-es évjárat megfelelő adataival helyettesítettük. Az induló paramétereket – talajnedvesség, tápanyag, térfogattömeg, növényszám – változtatlanul hagyva módosított időjárási adatsorokkal futtattuk le a modellt, s elemeztük a korrekció hatásait a kukorica növekedési, fejlődési jellemzőire.

A becsült szántóföldi kelés az alacsonyabb hőmérséklet miatt későbbre tolódott a módosított változatokban, a becslés időpontja így pontosan megegyezett az 1997-ben mért kísérleti adatokkal. A kelés becsült idejét tehát a vetés mélysége mellett csak a hőmérséklet szabályozza. A vetés-kelés közötti időszak magas hőmérséklete a szántóföldi kelés időpontjának pontatlan, túl korai becsléséhez vezet, ha eközben a talaj állapota (rögös magágy, nedvességtartalom) nem felel meg a csírázáshoz.

A módosított futtatási változatokban a modell pontosan becsülte a nővirágzás és a biológiai érettség időpontját, illetve a levélterület-index maximális értékét. Ez összefügg azzal, hogy közvetlenül a címerdifferenciálódás előtt, illetve az induktív fázis során mért magas hőmérséklet a modellben növeli a maximális levélszámot és késlelteti a nővirágzás idejét. 1997-ben tehát a kritikus induktív fázisban mért alacsony hőmérséklet következtében csökkent a modellezett levélszám, a LAI_{max} , s tolódott korábbra a nővirágzás becsült időpontja is.

A vizsgálatok szerint 1997-ben nem a víz- és tápanyag-ellátottság limitálta a szárazanyag-gyapodás ütemét és a biomassa mennyiségét, hanem a szemtelítődés kezdeti és intenzív szakaszában mért, kiugróan alacsony globálsugárzás és hőmérsékleti értékek. Emellett nincs közvetlen összefüggés a fenológiai jellemzők és a biomassa pontatlan becslése között.

Az elvégzett szimulációs kísérlet igazolja, hogy az 1997-es év időjárásának anomáliái vezettek a kukorica fenológiai, valamint fejlődési, növekedési változóinak pontatlan becsléséhez.

4. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

- A CERES-Maize 3.5 szimulációs modell segítségével a talaj felső, 60 cm-es szelvényének tavaszi,

vetés előtti nedvességekészlete elfogadható pontossággal becsülhető. A mélyebb rétegekben viszont a modell alulbecsli a mért értékeket, nem veszi figyelembe a kísérleti területre alulról és oldalról érkező többlet vízmennyiség hatását.

- Kimutattam, hogy műtrágyázott körülmények között a különböző mélységű talajművelési kezelések jelentős mértékben befolyásolják a talaj ásványi N-készletét. Tavaszai sekélytárcsás művelés esetén a szántott kezelés ásványi N-tartalmának 30-50 %-a hiányzik a vizsgált talajszelvényből. A nitrogénvesztés az őszi-téli időszakban fellépett denitrifikáció következménye, amit a modell futtatása is igazolt.
- Vizsgálataim szerint jó csapadék-ellátottságú években a kukorica egy növényegyedre eső szemtermése a tavasszal elvégzett sekély alpművelés ellenére sem csökken megbízhatóan az őszi szántáshoz képest. Az egyedi produkció szórását egyik kezelés sem befolyásolja lényegesen. Sem a talajművelés módja, sem a műtrágyázás mértéke, illetve az eltérő növényesűrűség nem okoz következetesen kisebb vagy nagyobb állomány-heterogenitást.
- A tárcsás kezelésben mért alacsonyabb és kiegyenlítetlen növényszám alapján arra következtethetünk, hogy a magágy minőségében és a talajfelszín állapotában jelentős eltérés van a két művelésmód között, a talajművelés módja pedig alapvetően meghatározza a betakarításkor felvételezett növényszámot.
- A CERES-Maize 3.5. szimulációs modell futtatásához meghatároztam a tartamkísérletben szereplő, két kukorica-hibrid genetikai paramétereit. Ezekkel a paraméterekkel meg lehet adni a keléstől a juvenilis fázis végéig (P1), illetve a virágzástól a fiziológiai érettségig szükséges effektív hőösszegeket (P5), a fotoperiodikus érzékenység konstansát (P2), az egy csövön lehetséges maximális szemszámot (G2), valamint a szárazanyag beépülés maximális sebességét (G3).
- A modell validálása során, valamint szimulációs kísérletekkel bizonyítottam, hogy a program kellő pontossággal szimulálja a kukorica fenológiai jellemzőit, a szemtermés és a hektáronkénti biomassza mennyiségét, szezonális dinamikáját, ha a talaj állapota, valamint az időjárási tényezők optimálisak a kukorica vetéséhez, növekedéséhez, fejlődéséhez.
- A modell a talajművelési kezelések hatásainak leírására csak részben alkalmas, mivel nem eléggé érzékeny a művelés okozta összetett hatásokra. A talajművelés hatását csak közvetett úton, a szimuláció input paramétereiként megadott térfogattömeg, növényszám adatok, valamint a tápanyag- és vízellátottság értékek ismeretében tudja kezelni.
- Mivel mérési eredményeim szerint a CERES-Maize modell gyakran túl- vagy alulbecsli a termés komponenseit, ezért jövőbeli fejlesztése feltétlenül indokolt e területen.

5. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK JEGYZÉKE

• Tudományos dolgozatok

1. **MEGYES, A. – DOBOS, A. – RÁTONYI, T.:** 1999. Effect of fertilization and plant density on the dry matter production of two maize (*Zea Mays* L.) hybrids. *Cereal Research Communications*. 27. 4. 433-438.
2. **MEGYES, A. – NAGY, J.:** 1999. A növényszám hatásának értékelése a kukorica (*Zea mays* L.) termésére eltérő évjáratokban. *Növénytermelés*. 48. 5. 535-542.
3. **MEGYES, A. – RÁTONYI, T.:** 1997. Evaluation of conservation tillage method in maize production. In: *Soil, Plant and Environment Relationships*. Agricultural University of Debrecen. 296-307.

4. NAGY, J. – RÁTONYI, T. – PAKURÁR, M. – SZABÓ, GY. – BOGDÁN, I. – **MEGYES, A.** – DOBOS, A.: 1997. The effect of fertilization on the yield of maize (*Zea mays*). Current Plant and Soil Science in Agriculture. In: Soil, Plant and Environment Relationships. Agricultural University of Debrecen. 105-114.
5. NAGY, J. – RÁTONYI, T. – PAKURÁR, M. – SZABÓ, GY. – BOGDÁN, I. – **MEGYES, A.** – DOBOS, A.: 1997. Interrelations of soil cultivation systems and fertilization. Soil, Water and Environment Relationships. In: Land Use and Soil Management. Agricultural University of Debrecen. 195-208.
6. **MEGYES, A.**: 2000. A DSSAT 3.5 számítógépes döntéstámogató rendszer felhasználása az öntözés agronómiai és gazdasági értékelésében. In: Fenntartható mezőgazdaság-minőségi termelés. Kiadvány. 158-180.
7. **MEGYES, A.** – RÁTONYI, T. – HUZSVAI, L. – SZABÓ, GY. – DOBOS, A. – SUM, O.: 2001. Műtrágyázás hatása a Dekalb 471 SC kukorica hibrid (*Zea mays* L.) termésére öntözés nélkül és öntözéssel termesztésben. Növénytermelés. 49. 307-316.
8. **MEGYES, A.** – RÁTONYI, T. – NAGY, J. – KOVÁCS, M.: 2001. A kukorica csökkentett menetszámú talajművelési technológiájának értékelése talaj- és növényvizsgálatok alapján. DE, Agrártudományi Közlemények, II. Acta Agraria Debreceniensis. 47-54.

• **Népszerűsítő és gyakorlati szakcikk**

1. **MEGYES, A.** – NAGY, J. – RÁTONYI, T. – DOBOS, A.: 1999. A művelés és a trágyázás összefüggései debreceni tartamkísérletekben. AGROFORUM X. 7/2. 13-14.
2. NAGY, J. – HUZSVAI, L. – RÁTONYI, T. – **MEGYES, A.** – DOBOS, A.: 1999. Alföldi csernozjom talajok érzékenysége a termőföldre. AGROFORUM X. 7.25-26.
3. NAGY, J. – HUZSVAI, L. – RÁTONYI, T. – **MEGYES, A.** – DOBOS, A.: 1999. A száraz időjárás kedvezőtlen hatásainak mérséklése minimális műveléssel. AGROFORUM X. 7. 445.
4. NAGY, J. – RÁTONYI, T. – HUZSVAI, L. – **MEGYES, A.**: 2000. A talajművelés és a műtrágyázás hatásának értékelése a kukorica termésére mészlepedékes csernozjom talajon. AGROFORUM XI. 3. 52-53.
5. RÁTONYI, T. – HUZSVAI, L. – **MEGYES, A.** – DOBOS, A. – NAGY, J.: 2000. Alternatív módszerek napjaink talajművelésében. AGRÁRIUS 2000/3. 7-8.
6. HUZSVAI, L. – RÁTONYI, T. – DOBOS, A. – **MEGYES, A.** – NAGY, J.: 2000. Számítógépes döntéstámogató rendszerek. AGRÁRIUS 2000/4. 7-8.

• **Előadások és poszterek konferenciákon**

1. **MEGYES, A.**: 1997. A műtrágyázás és a talajművelés hatása a kukorica szárazanyag-hozamára. III. Ifjúsági Tudományos Fórum, Keszthely. Kiadvány.
2. **MEGYES, A.**: 1997. Talajművelési eljárások értékelése a kukoricatermesztésben. Tiszántúli Mezőgazdasági Tudományos Napok, Karcag. Kiadvány. 294-295.
3. **MEGYES, A.**: 1998. Testing CERES-Maize Model for evaluation of tillage methods in maize production. In: Soil Condition and Crop Production. ISTRO Conference, Gödöllő. Proc. 104-107.
4. **MEGYES, A.**: 1999. Modeling tillage effects on growth, development and grain yield of maize (*Zea Mays* L.) in a long-term experiment. Study Tour Final Report, Christian Albrechts University of Kiel, Institute of Crop Science and Plant Breeding, Crop Science Department, Kiel, Germany

5. **MEGYES, A.** – DOBOS, A. – RÁTONYI, T.: 1999. A CERES-Maize 3.0 szimulációs modell alkalmazása talajművelési eljárások értékelésében. V. Ifjúsági Tudományos Fórum. Keszthely. Kiadvány. 163-168.
6. PAKURÁR, M. – **MEGYES, A.** – RÁTONYI, T.: 1999. Döntéstámogató crop-modell alkalmazása a mezőgazdasági szaktanácsadásban. Agrárinformatika '99. Debrecen. Konferencia Kiadvány. 340-345.
7. PAKURÁR, M. – NAGY, J. – RÁTONYI, T. – DOBOS, A. – **MEGYES, A.**: 1999. A műtrágyázás akkumulatív hatásvizsgálata szántóföldi tartamkísérletben. Tiszántúli Mezőgazdasági Tudományos Napok, Debrecen. Kiadvány. 217-224.
8. RÁTONYI, T. – **MEGYES, A.** – DOBOS, A.: 1999. A talaj tömörödöttségét befolyásoló agrotechnikai tényezők értékelése a debreceni talajművelési tartamkísérletben. V. Ifjúsági Tudományos Fórum. Keszthely. Kiadvány. 139-143.
9. RÁTONYI, T. – **MEGYES, A.**: 2000. Effects of tillage systems on some physical parameters and nitrat mineralization of chernozem soil in the Hungarian Great Plain. In: 15th Conference of the International Soil Tillage Research Organization. ISTRO-2000 Conference, Forth Worth, Texas, USA.